

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN, MOLIENDA Y
GESTIÓN DE MATERIAS PRIMAS DE ALIMENTOS BALANCEADOS**

**ANDRÉS MAURICIO LEDESMA HURTADO
JESÚS HERNANDO ORTEGA DAZA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2017**

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN, MOLIENDA Y
GESTIÓN DE MATERIAS PRIMAS DE ALIMENTOS BALANCEADOS**

**ANDRÉS MAURICIO LEDESMA HURTADO
JESÚS HERNANDO ORTEGA DAZA**

**Pasantía Institucional para optar el título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Director
ANDRÉS FELIPE NAVAS
Ingeniero Mecatrónico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2017**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado
en cumplimiento de los requisitos
exigidos por la Universidad
Autónoma de Occidente para optar
al título de Ingeniero Mecatrónico

JUAN CARLOS MENA

Jurado

Santiago de Cali, 13 de Julio de 2017

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. ANTECEDENTES	16
4. MARCO TEÓRICO	23
5. OBJETIVOS	34
5.1 OBJETIVO GENERAL	34
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
6. METODOLOGÍA	35
6.1 ETAPAS DEL PROYECTO	36
7. DESARROLLO CONCEPTUAL	37
7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	37
7.2 INVENTARIO Y CODIFICACIÓN DE LA PLANTA	41
7.3 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	48
7.4 ANÁLISIS QFD	51
7.5 GENERACIÓN DE CONCEPTO	53
7.5.1 Selección de funciones	53
7.5.2 Definición de concepto final	61
8. DISEÑO DETALLADO	64

8.1 CONTROLADOR	64
8.1.1 Marca PLC	64
8.1.2 Familia PLC	64
8.1.3 Módulos de IOs distribuidas	66
8.2 RED DE COMUNICACIÓN	70
8.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	71
8.4 SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN DE MÍMICOS	73
8.4.1 Características	73
8.4.2 Beneficios	74
8.5 SOFTWARE DE FORMULACIÓN Y REPORTE	75
8.6 SENSORES Y ACTUADORES	77
8.6.1 Sensores	78
8.6.2 Actuadores	82
8.7 ESQUEMA ELÉCTRICOS DEL DISEÑO	83
 10. ESTRATEGIA DE CONTROL	 89
 11. COTIZACIÓN DE MATERIALES	 90
 12. CONCLUSIONES	 94
 BIBLIOGRAFÍA	 96
 ANEXOS	 100

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cronograma de actividades	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2. Codificación de las secciones de planta	41
Tabla 3. Codificación de equipos	41
Tabla 4. Codificación de equipos de instrumentación y actuadores	42
Tabla 5. Cantidad de IOs de los equipos de la planta	43
Tabla 6. Necesidades del cliente	49
Tabla 7. Métricas	50
Tabla 8. Antecedentes comparativos	51
Tabla 9. Método QFD	52
Tabla 10. Matriz de tamizaje, arquitectura del sistema	54
Tabla 11. Matriz de tamizaje, arquitectura de red	55
Tabla 12. Matriz de tamizaje, topología	56
Tabla 13. Matriz de tamizaje, controlador del sistema	57
Tabla 14. Matriz de tamizaje sensor de nivel	58
Tabla 15. Matriz de tamizaje sensor de peso	59
Tabla 16. Matriz de tamizaje sensor de posición	60
Tabla 17. Actuadores ya existentes en la planta	60
Tabla 18. Matriz de tamizaje, estados de motores	61
Tabla 19. Matriz de tamizaje combinación de conceptos	62
Tabla 20. Comparación familias de PLCs Allen-Bradley	64
Tabla 21. Especificaciones técnicas del PLC 1769-L33ER	65
Tabla 22. Especificaciones técnicas del sensor de vibración	78
Tabla 23. Especificaciones técnicas del sensor capacitivo	79
Tabla 24. Especificaciones técnicas del sensor inductivo	81
Tabla 25. Requerimientos técnicos de los actuadores	82
Tabla 26. Cotización del sistema de control y comunicación	90

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Arquitectura instalada actualmente	17
Ilustración 2. Pantalla de los procesos de fabricación de mezcla	19
Ilustración 3. Pantalla de los procesos de alimentos concentrados	20
Ilustración 4. Sistema de pesaje	21
Ilustración 5 Pantalla de los procesos de fabricación de mezcla	25
Ilustración 6 Estructura básica de un sistema SCADA	26
Ilustración 7. Arquitectura general de un sistema de control para un proceso industrial	27
Ilustración 8. Arquitectura general de un sistema de control centralizado	28
Ilustración 9. Arquitectura general de un sistema de control distribuido	29
Ilustración 10. Estructura de comunicación ASI	30
Ilustración 11. Molino de martillos	31
Ilustración 12. Sistema de dosificación	32
Ilustración 13. Sistema de empaque	33
Ilustración 14. Módulos IOs referencia Point IO	67
Ilustración 15. Módulos IOs referencia Flex IO	68
Ilustración 16. Módulos IOs referencia Flex Ex IO	69
Ilustración 17. Diseño de la arquitectura del sistema	72
Ilustración 18. Visualización de un sensor de vibración marca SICK	79
Ilustración 19. Visualización de un sensor capacitivo marca SICK	80
Ilustración 20. Visualización del módulo para las celdas de carga	81
Ilustración 21. Visualización de un sensor inductivo marca SICK	82
Ilustración 22. Diagrama unifilar del tablero principal.	84
Ilustración 23. Diagrama de conexión de la fuente, PLC y módulos de expansión de entradas y salidas	85
Ilustración 24. Diagrama de conexión de las tarjetas de entradas digitales	86

Ilustración 25. Diagrama de conexión de las tarjetas de salidas digitales	87
Ilustración 26. Diagrama de conexión de potencias de 3 motores	88

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Diagrama de proceso línea pecuaria, parte 1	100
Anexo B. Diagrama de proceso línea pecuaria, parte 2	101
Anexo C. Diagrama de proceso línea acuícola, parte 1	102
Anexo D. Diagrama de proceso línea acuícola, parte 2	103
Anexo E. Diagrama de proceso de toda la planta de Alimentos Concentrados	104
Anexo F. Convenciones del diagrama de proceso de toda la planta de Alimentos Concentrados	105
Anexo G. Diagrama de proceso de las zonas de almacenamiento y molienda de materia prima de la planta de Alimentos Concentrados	106
Anexo H. Diagrama de proceso de las zonas de dosificación y mezcla de la línea acuícola de Alimentos Concentrados	107
Anexo I. Diagrama de proceso de las zonas de peletizado, extruido, engrase y empaque de la línea acuícola de Alimentos Concentrados	108
Anexo J. Diagrama de proceso de las zonas de transporte de materias primas, dosificación y mezcla de la línea pecuaria de Alimentos Concentrados	109
Anexo K. Diagrama de proceso de las zonas de peletizado, extruido, engrase y empaque de la línea pecuaria de Alimentos Concentrados	110
Anexo L. Estrategia de control del sistema	111

RESUMEN

El siguiente documento trata sobre darle solución a la problemática que plantea la empresa Alimentos Concentrados, como modalidad de pasantía institucional para la facultad de ingeniería del programa Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Occidente. El principal propósito del proyecto es realizar el diseño de automatización de procesos de dosificación, molienda y gestión de materias primas de dicha empresa con el fin de aumentar la productividad y mejorar los costos de producción de las líneas acuícola y pecuaria.

Inicialmente se procede a la obtención de información, la cual fue suministrada a través de un pliego de cargos por la empresa de Alimentos Concentrados, con esta información se realiza el planteamiento del problema para así sacar la lista de necesidades que posteriormente se clasifican y ponderan para obtener los requerimiento más importantes del diseño, esto mediante el método de análisis QFD.

Una vez se tienen los requerimientos o características más importantes de diseño se plantean diferentes alternativas que dan solución a las principales funciones del diseño, en la selección de la mejor opción se desarrollan matrices de tamizaje para cada función logrando así definir claramente un concepto de diseño.

Teniendo un concepto de diseño ya definido se realiza la justificación de los equipos y software con los cuales se va a realizar el diseño, mostrando las características técnicas de cada equipo, las cuales deben adaptarse a lo que se especificó en la generación de concepto.

Para finalizar el documento, ya con el diseño ya descrito y especificando que equipos y software se van a usar queda finalmente realizar la estrategia de control que realiza el controlador seleccionado, además se hace una cotización con los materiales necesarios para la implementación y por último se realizan las conclusiones del proyecto.

Palabras claves: Diseño de automatización, proceso de dosificación, proceso de molienda, gestión de materias primas, productividad, análisis QFD, matriz de tamizaje, concepto de diseño, estrategia de control, cotización de materiales.

INTRODUCCIÓN

La automatización en procesos industriales nace a finales del siglo XVIII debido a la necesidad que tenían las empresas de aumentar su productividad, mejorar la calidad y las especificaciones técnicas para así ser más competitivas. La evolución de la automatización ha sido muy rápida debido a las ideas de diferentes personas como Adam Smith que propuso el concepto de división de trabajo, la introducción de las partes intercambiables por Eli Whitney, Frederick Winslow Taylor que planteó la teoría de la dirección científica; éstas fueron solamente algunas de las ideas planteadas a lo largo de los siglos XIX y XX que sumado con los grandes y rápidos avances tecnológicos hoy en día se puede realizar el control de diferentes variables en distintos procesos de forma automática.

Actualmente la mayoría de las industrias están automatizadas o están en ese proceso para lograr mantenerse en el mercado, es por esto que existen empresas encargadas de brindar el servicio de automatización y control de procesos industriales, una de estas empresas se llama GF INGENIERÍA S.A., que para este proyecto la empresa de Alimentos Concentrados ubicada en la ciudad de Panamá, le planteó un proyecto que consiste en automatizar los sistemas de dosificación, molienda y gestión de materias primas de las líneas de producción acuícola y pecuaria.

La empresa de Alimentos Concentrados tiene instalado en estos momentos un sistema de automatización para las dos líneas de producción ya mencionadas anteriormente, entonces el propósito de este proyecto es realizar un nuevo diseño de automatización debido a las siguientes razones:

- La obsolescencia y uso prolongado más allá del tiempo de vida recomendado por los fabricantes de los elementos que componen la plataforma de control y operación de estas líneas.
- Falta de asistencia técnica y escasez de piezas de repuesto por terminación de soporte por parte de fabricante original para componentes críticos del sistema de dosificación y control.

- El estado del cableado actual que lleva las señales de control y potencia desde y hacia los instrumentos, actuadores y equipos de campo puede provocar fallas en las secuencias de control y monitoreo, ocasionando las paradas no programadas e interrupciones en las líneas de producción.
- Conveniencia de recuperación del control automático y reducir la dependencia de operaciones manuales.

Para realizar el nuevo diseño del proceso de las dos líneas de producción se tiene pensado realizar inicialmente el levantamiento de información detallada del sistema actual, elaboración de diagramas de la planta, realizar el diseño de arquitectura del sistema y por último la elaboración de la estrategia de control.

El proyecto tiene algunas limitaciones y es que a la hora de realizar la selección de elementos necesarios para la automatización se deben utilizar los componentes ya existentes actualmente en la empresa, para ellos es importante hacer un inventario de sensores, actuadores, elementos de control, de comunicación y sistemas mecánicos disponibles.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa de Alimentos Concentrados se dedica al sector agroindustrial en las áreas de ganadería, porcicultura, avicultura y piscicultura, para ser competitivo en este sector dispone de dos líneas de producción: acuícola y pecuaria. Actualmente gran parte de las lógicas automáticas de control para la habilitación y utilización de las rutas de trasiego ingredientes o materias primas, así como permisivos de niveles de llenado y enclavamientos de seguridad de atasque en transportadores no están en funcionamiento y/o tienen alcance limitado, y se ha procedido monitorear visualmente y dar comandos manuales de marcha desde el SCADA en los equipos que ahora carecen del gobierno de la lógica automática de control.

Los procesos de transporte y regulación de los sistemas son supervisados solamente por un operario causando una gran carga laboral debido a que está encargado de varias rutas, esto conlleva a que el operario esté más atento de los atasques que de la calidad del alimento concentrado, además del excesivo cansancio laboral por las agitadas horas de trabajo.

La disminución de la productividad también se ve reflejada por los tiempos muertos en los que las máquinas se encuentran encendidas pero quietas debido a los atascamientos, también se requiere disminuir la energía del proceso por tonelada, entonces al evitar los tiempos perdidos se aumenta la productividad de la planta y así disminuir el consumo de kW por tonelada.

En relación a lo mencionado anteriormente se plantea la siguiente pregunta que orientan el presente documento, ¿Cómo se puede lograr un nuevo diseño de automatización con los componentes existentes que logre aumentar la productividad y reducir costos de producción en las líneas acuícola y pecuaria?

2. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día todas las empresas industriales lo que buscan es automatizar sus procesos de producción para así poder mantenerse en el mercado nacional e internacional, la electrónica, mecánica, eléctrica, automatización, informática y el control son claves para estos procesos, llevando así a que los estudiantes en formación de las diferentes ingenierías se relacionen con estos métodos para que una vez finalicen los estudios superiores sean capaces de solucionar los problemas presentados en las industrias.

La empresa de Alimentos Concentrados en la cual ya hay un proceso de automatización en las líneas acuícola y pecuaria, requiere un cambio de diseño debido a la obsolescencia y uso prolongado más allá del tiempo de vida recomendado por los fabricantes de los elementos que componen la plataforma de control y operación de estas líneas.

Por esta razón algunos equipos ya no están funcionando o lo hacen de una manera inadecuada haciendo que los procesos sean supervisados de forma manual, entonces, se busca reducir los errores causados por los procesos manuales, aumentar el dinamismo de las líneas de producción y además llevar un monitoreo de las variables más importantes representadas en cada uno de los procesos para así evitar atascamiento.

La principal beneficiada de este proyecto sería la empresa ya que si se implementa la automatización de las líneas acuícola y pecuaria entonces habrá una mayor productividad, reducción en el consumo de energía, menor carga laboral para el operario encargado de estas actividades y mejorará la calidad del producto, además de llevar una supervisión en tiempo real de las variables involucradas en los procesos. Otro de los beneficiados con el desarrollo del proyecto es el operario en el área de las tolvas ya que se encarga de direccionar e inspeccionar la trazabilidad de todos productos.

Por otro lado se favorece el cliente ya que al evitarse los atascamientos mejora la calidad del producto terminado ocasionando así una sana alimentación para el animal. Con el desarrollo del proyecto el estudiante en la práctica entenderá cómo funcionan los procesos, máquinas, dispositivos y herramientas a nivel industrial, logrando así adquirir una experiencia productiva para su vida como profesional en ingeniería.

Por lo anteriormente mencionado son muchos los beneficiados con el desarrollo del proyecto porque involucra ganancias económicas para la empresa, no sólo porque va a producir más en el mismo tiempo sino que además va adquirir una tecnología moderna que le permite permanecer en el mercado por algunos años más. Mejorará la estabilidad laboral de los operarios y la adquisición científica práctica de los ingenieros en formación.

3. ANTECEDENTES

En la actualidad son muchas las empresas que ya cuenta con sus líneas de producción automatizadas, hay unas para cada proceso, ya sea dosificación, mezclado, molienda, etc., por lo tanto en esta parte del proyecto se buscan algunas tesis nacionales e internacionales que ya han sido implementadas para de esta manera tener referencias, conceptos e ideas para empezar con el diseño de este proyecto, el primer antecedente a mostrar es el que existe actualmente en la planta de Alimentos Concentrados, y luego se muestran algunos ejemplos:

- **Sistema de automatización en la empresa Alimentos Concentrados.** Las líneas acuícola y pecuaria se definen como dos procesos de elaboración de alimentos, utilizando un modelo típico de línea de producción, en donde materias primas y crudas son introducidas al inicio de la cadena, y sufren diversas transformaciones originadas en procesos definidos a lo largo del curso de producción, para finalmente obtener un producto final determinado.

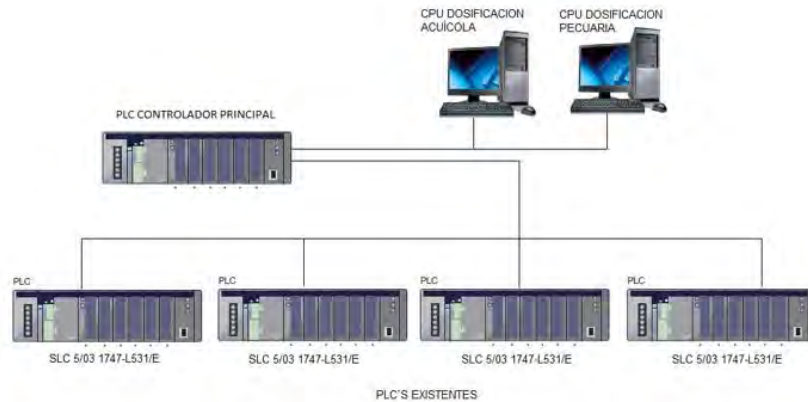
El proceso inicia con la recepción de la materia prima, sólida como líquida, en silos externos y tanques de almacenamiento. Se trasiega desde estos silos y tanques de almacenamiento al conjunto de tolvas de almacenamiento temporal y tanques de producción diaria dentro de la planta para ambas líneas. Controladores de dosificación (Chronos Richardson SOW 450 y SOW 500) mueven los ingredientes, desde estas tolvas a básculas de pesaje correspondientes, en cantidades dictadas por recetas pre-configuradas en estos controladores.

Posteriormente, el lote de ingredientes continúa su ruta y pasan por diversos procesos que, de acuerdo a la línea a la que pertenezcan (pre-mezclado, mezclado, *peletización*, extrusión, separación, etc.), involucran equipos de proceso específico, de limpieza, transporte y delimitación de volumen actuados y monitoreados por lógicas de control implementadas en una plataforma de control y comando basada en equipos de *Rockwell Automation* de la gama SLC 500, que además asegura enclavamientos de operación y seguridad a transportadores, elevadores y demás equipos en la planta. Toda la operación de la planta es parcialmente monitoreada y controlada con un sistema SCADA RSVIEW32, que intercambia información con los controladores de dosificación y el software informático Nereidas, que provee formulación y genera reportes de producción.

- **Arquitectura.** El sistema instalado actualmente concentra cableados desde cada uno de los equipos e instrumentos hasta el conjunto de armarios del

sistema PLC, en el cuarto de control, lo que se conoce como una arquitectura de I/O centralizada.

Ilustración 1. Arquitectura instalada actualmente



Fuente: Documento de Alimentos Concentrados, Especificación técnica y pliego de cargos. Ciudad de Panamá, 2016. p. 4. 1 archivo de computador.

Esta etapa incluye la migración de los PLC's que controlan la dosificación de cada uno de los procesos (SOW500 para la producción acuícola y SOW450 para la producción pecuaria) a una plataforma que permita el control adecuado de la dosificación. Y la actualización del software de formulación y reportes de producción Nereidas, de acuerdo a los cambios de hardware realizados.

Se contempla la comunicación del nuevo controlador con los PLC 1, 2, 3 y 4, actuales, los cuales se encargan del proceso en ambas líneas y el sistema SCADA para monitoreo y control del sistema.

Los sistemas actuales de dosificación cuentan con las siguientes características:

- Control de pesaje de materia prima en tres básculas de sólidos simultáneamente. (Dos en la línea pecuaria, una en la línea acuícola)
- Control de hasta tres líquidos inyectados a la mezcladora simultáneamente (tanto para la línea acuícola como para la pecuaria)
- Control del ciclo de mezcla y enclavamientos en ambas líneas simultáneamente.

- Control de aditivos en ambas líneas simultáneamente.
 - Control y seguimiento de baches, desde la báscula hasta los distribuidores asignados para cada línea.
 - Capacidad superior a 3000 fórmulas en memoria, 50 materias primas con nombre de 20 caracteres. ¹
- **Diseño de una metodología y control para los procesos de dosificación, mezcla y carga de una planta de asfalto.** Esta tesis propone aplicar una metodología de automatización y control a una planta de asfalto, así como proponer los dispositivos (sensores y actuadores) adecuados que se puedan implementar para la elaboración del asfalto focalizado en sus procesos de dosificación y mezclado. Para el control del proceso de elaboración de mezcla se propone un PLC SIMATIC S7-200, la comunicación se realiza mediante los puertos del PLC SR485 que permite la comunicación y configuración con el computador para el manejo y monitoreo de las variables. Para la supervisión y control del sistema se propone utilizar el panel táctil TP170A, en cuanto a la interconexión con el PLC se realiza vía MPI y Profibus DP, para esta supervisión se implementa el sistema SCADA y la visualización se realiza mediante LABVIEW como se muestra en la ilustración 2.²

¹ Documento de Alimentos Concentrados, Especificación técnica y pliego de cargos. Ciudad de Panamá, 2016. p. 3-5. 1 archivo de computador.

² LÓPEZ CÉSPEDES, Alfonso y MESA HERNANDEZ, Juan Carlos. Diseño de una metodología de automatización y control para los procesos de dosificación, mezcla y carga de una planta de asfalto [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Diseño y Automatización Electrónica. 2007. p.125, 127 [consultado 05 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16661/T44.07%20L881d.pdf?sequence=1>

Ilustración 2. Pantalla de los procesos de fabricación de mezcla



Fuente: LÓPEZ CÉSPEDES, Alfonso y MESA HERNANDEZ, Juan Carlos. Diseño de una metodología de automatización y control para los procesos de dosificación, mezcla y carga de una planta de asfalto [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Diseño y Automatización Electrónica. 2007. p.127 [consultado 05 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16661/T44.07%20L881d.pdf?sequence=1>

○ **Sistema de dosificación y pesaje planta ITALCOL Funza.** Sistema de dosificación que permite por medio de alimentadores de tornillos y compuertas o raseras dosificar cada uno de los ingredientes de la formulación, este es elegido dependiendo el tipo de ingrediente tales como la presentación, su densidad y tamaño para la precisión se tiene en cuenta la resolución, su capacidad mínima las dimensiones de la celda de carga como también la estructura de apoyo de la báscula, el controlador y el software del control de pesaje con los parámetros establecidos o el coeficiente de variación permitido.

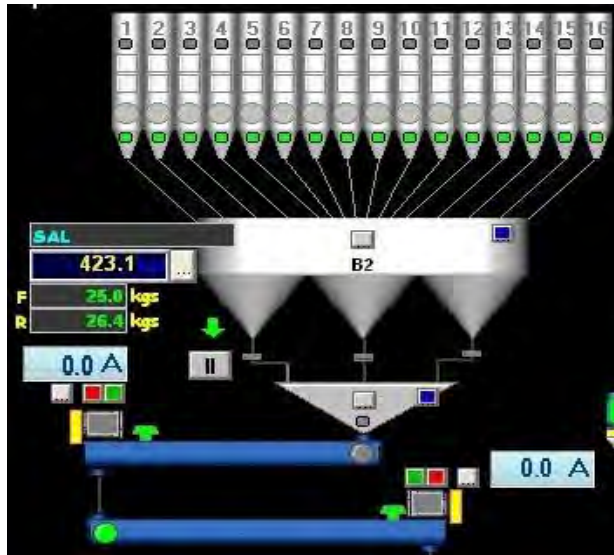
Elementos que conforman el sistema: raseras, celdas de carga de compresión, variador de velocidad vectorial siemens, motores de jaula de ardilla, alimentadores con tornillo, PLC Unitronics, software de adquisición y control de datos SCADA.

En la búsqueda de antecedentes para este tipo de proyectos son muchos los que se encuentra en diferentes tesis tanto a nivel nacional como internacional pero para este caso se realiza una breve descripción de cómo se automatizan procesos que se van a tratar como son los sistemas de dosificación y molienda.³

³ AMAYA, Johanna y GARCÍA, Juan Carlos. Libro de ITALCOL FUNZA, Molienda. Palmira, 2013. p. 12.

- **Automatización de sistemas proactivos enfocados en plantas de alimentos balanceados.** Este sistema utiliza como medios de automatización PLC para sistema de dosificación, mezclado y peletizado. Utiliza sistemas de software para la administración de órdenes y formulas del sistema, así como el uso de catálogos de básculas, silos, ingredientes, formulas y ordenes de producción para posteriormente la ejecución en el sistema automático.

Ilustración 3. Pantalla de los procesos de alimentos concentrados



Fuente: Sistemas proactivos, ingeniería y proyectos [en línea]: Sistemas de automatización y control. 2015. [Consultado 15 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <http://automatizacion.sistemasproactivos.com/index.html>

Este sistema utiliza como medios de automatización PLC para sistema de dosificación, mezclado y peletizado. Utiliza sistemas de software para la administración de órdenes y formulas del sistema, así como el uso de catálogos de básculas, silos, ingredientes, formulas y ordenes de producción para posteriormente la ejecución en el sistema automático.

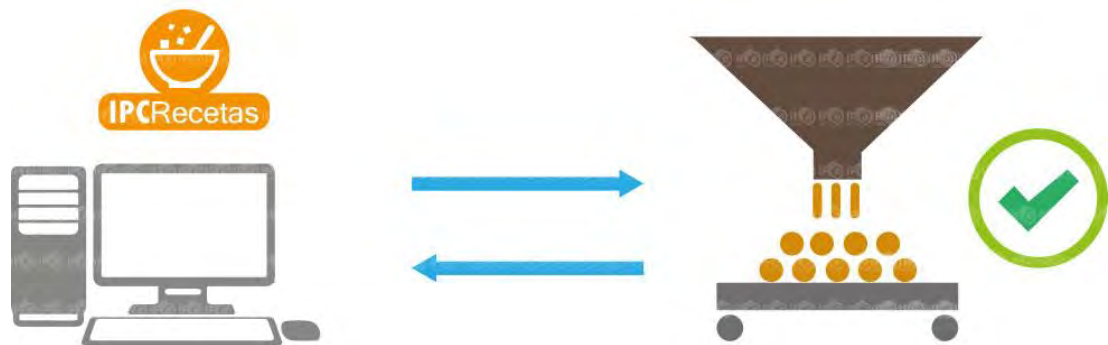
El sistema de dosificación y mezclado procesa las órdenes de producción en la cual devuelven al sistema datos de los pesos reales de los ingredientes que fueron dosificados. El servidor del sistema realizará las operaciones administrativas tales como: lista de informes, órdenes de producción, reporte del turno, análisis de ingredientes. Todos los informes están disponibles en cualquier momento.

Su sistema de control es económico y escalable para aplicaciones pequeñas y para sistemas que necesiten un trabajo mediano en los cuales van a ser conectados, el ambiente de desarrollo utiliza un software de programación en el cual el controlador y los módulos E/S reducen el tiempo de desarrollo y la rapidez de comunicación entre ellos.

El PLC cumple con la norma IEC61131-3, sus módulos de expansión permiten una conexión y desconexión rápida, es de fácil mantenimiento y el montaje puede ser horizontal o vertical sin reducción requerida.⁴

- **Pesaje para dosificación y formulación de alimento balanceado.** Un sistema de pesaje especialmente integrado con la finalidad de formular un alimento balanceado con la exacta dosificación de cualquier fórmula con múltiples ingredientes.

Ilustración 4. Sistema de pesaje



Fuente: Pesaje para dosificación y formulación de alimento balanceado [en línea]. Grupo IPC. 2015. [Consultado 15 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.ipc.com.mx/pa-pesaje-para-alimento-balanceado.html>

La fórmula exacta ofrece al sector del alimento balanceado un sistema de pesaje especialmente integrado con la finalidad de formular un alimento con la exacta dosificación de acuerdo a la especie a alimentar, asegurando al fabricante un producto de la mejor calidad. Nuestro sistema de pesaje de alimento balanceado, está enfocado en el sistema operativo IPC. Comunicación entre procesos, la comunicación entre procesos (comúnmente IPC, del inglés Inter-Process

⁴ Sistemas proactivos, ingeniería y proyectos [en línea]: Sistemas de automatización y control. 2015. [Consultado 15 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <http://automatizacion.sistemasproactivos.com/index.html>

Communication) es una función básica de los sistemas operativos. Los procesos pueden comunicarse entre sí a través de compartir espacios de memoria, ya sean variables compartidas o buffers, o a través de las herramientas provistas por las rutinas de IPC. La IPC provee un mecanismo que permite a los procesos comunicarse y sincronizarse entre sí, normalmente a través de un sistema de bajo nivel de paso de mensajes que ofrece la red subyacente.

La comunicación se establece siguiendo una serie de reglas (protocolos de comunicación). Los protocolos desarrollados para internet son los mayormente usados: IP (capa de red), protocolo de control de transmisión (capa de transporte) y protocolo de transferencia de archivos, protocolo de transferencia de hipertexto (capa de aplicación).

Los procesos pueden estar ejecutándose en una o más computadoras conectadas a una red. Las técnicas de IPC están divididas dentro de métodos para: paso de mensajes, sincronización, memoria compartida y llamadas de procedimientos remotos (RPC). El método de IPC usado puede variar dependiendo del ancho de banda y latencia (el tiempo desde el pedido de información y el comienzo del envío de la misma) de la comunicación entre procesos, y del tipo de datos que están siendo comunicados.

Este sistema le proporciona un control correcto y exacto en la preparación de cualquier fórmula y proporcionando reporte de cada operación.

Estaciones de pesado: Las estaciones de pesado son versátiles y adaptables a sus necesidades, puede ser una báscula de tolva de gran capacidad o una balanza con una gran resolución. Las estaciones envían la información a la PC en tiempo real. Cada estación de pesado incluye un controlador de peso que constituye la comunicación entre operador y sistema y las básculas o balanzas dosificadoras que se requieran, el controlador de peso es completamente configurable.⁵

⁵ Pesaje para dosificación y formulación de alimento balanceado [en línea]. Grupo IPC. 2015. [Consultado 15 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <http://www.ipc.com.mx/pa-pesaje-para-alimento-balanceado.html>

4. MARCO TEÓRICO

En la realización del marco teórico se definen los conceptos de ingeniería necesarios para lograr entender el tema que se va a tratar, y así mismo empezar a buscar las alternativas de diseño para lograr la mejor solución. Para realizar la automatización de las rutas inicialmente se define conceptos que básicos como los siguientes.

En esta primera parte se define la terminología necesaria para describir los sistemas de control.

- **Variable controlada y señal de control o variable manipulada.** La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado. En el estudio de la ingeniería de control, es necesario definir términos adicionales que se precisan para describir los sistemas de control.
- **Plantas.** Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular. En este libro se llamará planta a cualquier objeto físico que se va a controlar (como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial).
- **Procesos.** El Diccionario Merriam-Webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado. En este libro se llamará proceso a cualquier operación que se va a controlar. Algunos ejemplos son los procesos químicos, económicos y biológicos.
- **Sistemas.** Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente

limitado a los sistemas físicos. El concepto de sistema se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos, como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse en un sentido amplio que comprenda sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.

- **Perturbaciones.** Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.

- **Control realimentado.** El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, ya que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema.

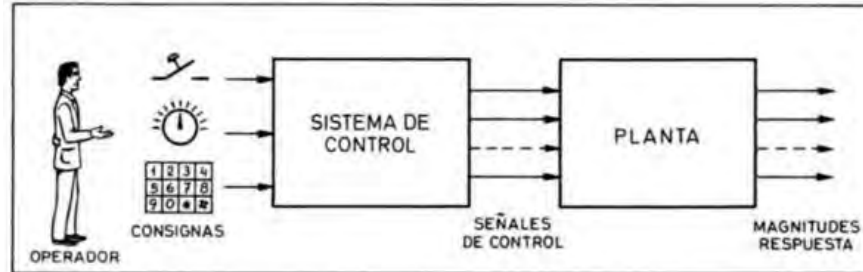
- **Sistemas de control en lazo cerrado.** Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

- **Sistemas de control en lazo abierto.** Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

La ilustración 5 como es la estructura de un sistema de control muy básico, donde el sistema de control es el encargado de controlar los diferentes procesos de la planta.

- **Sistema de control:** Cuando se tienen que controlar varios procesos y/o varias variables a nivel industrial se recurre al uso del controlador lógico programable.⁶

Ilustración 5 Pantalla de los procesos de fabricación de mezcla



Fuente: BALCELLS, Josep y ROMERAL, José Luis. Autómatas programables [en línea]. Barcelona: Marcombo Editores, 1997. p. 16 [consultado 05 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/340646428/Automatas-programables-Josep-Balcells-Jose-Luis-Romeral-pdf>

- **Controlador lógico programable (PLC).** Es un dispositivo electrónico programable encargado de controlar en tiempo real y en ambiente industrial, debido a su rápida evolución no es posible dar una definición exacta. Debido a que son muchas las rutas que controlar entonces se requiere de un sistema completo de adquisición de datos, supervisión y control.⁷

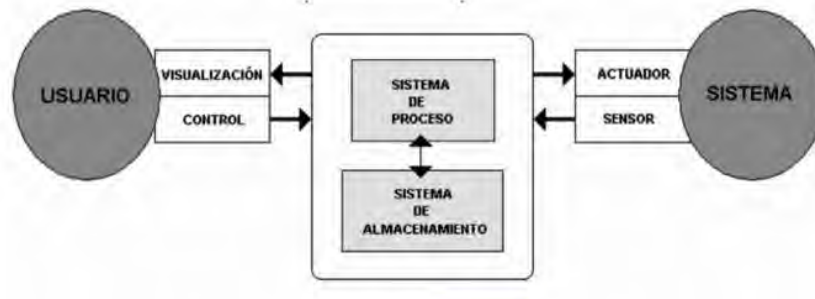
- **Sistema SCADA.** Un SCADA es un software de aplicación especialmente diseñado para funcionar sobre ordenadores de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios: control de calidad, supervisión,

⁶ MENA, Juan Carlos. Conceptos básicos de control y aplicaciones. Cali: Universidad Autónoma de Occidente. 2015. p. 1-4. 1 archivo de computador.

⁷ BALCELLS, Josep y ROMERAL, José Luis. Autómatas programables [en línea]. Barcelona: Marcombo Editores, 1997. p. 14-18 [consultado 05 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/340646428/Automatas-programables-Josep-Balcells-Jose-Luis-Romeral-pdf>

mantenimiento, etc. La ilustración 6 muestra la estructura básica de un sistema Scada.⁸

Ilustración 6 Estructura básica de un sistema SCADA

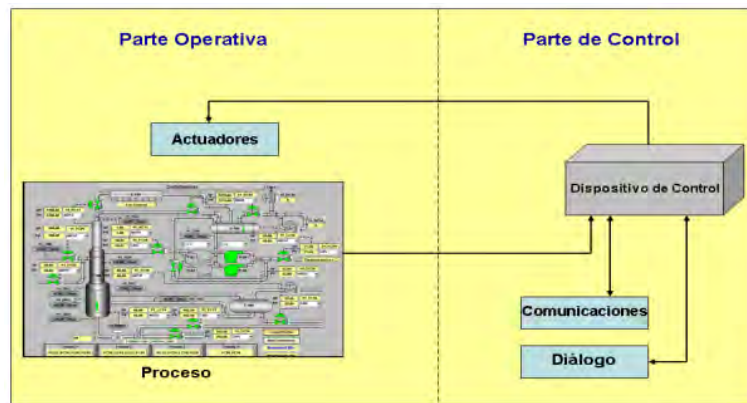


Fuente: RODRÍGUEZ PENIN, Antonio. Sistema Scada [en línea]. 2da ed. Barcelona: Marcombo, 2007. p. 33 [consultado 08 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/242766043/Sistemas-Escada-2Ed-Aquilino-Rodriguez-Penin-pdf>

○ **Arquitectura del sistema.** Los Sistemas de Control para Procesos Industriales en general se diseñan como controles de gran escala que a su vez son complejos. En la ilustración 6 se muestra la arquitectura general de este tipo de control. En ella se observa de manera clara la existencia de dos principales módulos, parte operativa y parte de control. En el primero de ellos (lado izquierdo) se cuenta con los dispositivos correspondientes al hardware y al software del sistema de control cuya función es la de brindar la información necesaria para realizar las operaciones del proceso auxiliado por una interface hacia el operador.

⁸ RODRÍGUEZ PENIN, Antonio. Sistema Scada [en línea]. 2da ed. Barcelona: Marcombo, 2007. p. 19-22 [consultado 08 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/242766043/Sistemas-Escada-2Ed-Aquilino-Rodriguez-Penin-pdf>

Ilustración 7. Arquitectura general de un sistema de control para un proceso industrial



Fuente: Arquitectura de un sistema de información [en línea]. Montevideo: Pedeciba, 2010. [Consultado 17 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: http://www.pedeciba.edu.uy/bioinformatica/sibdyw/Clase_3.pdf

A la derecha (parte de control) en la ilustración 7 se cuentan los dispositivos de control que ejecutarán las acciones indicadas por el módulo de la parte operativa.⁹

- **Control centralizado con IOs distribuidas.** En un modelo de control centralizado se caracteriza como el controlador del sistema que tiene la responsabilidad de gestionar la ejecución de otros subsistemas. Los modelos de control centralizado se dividen en clases, dependiendo del subsistema.

El modelo llamado retorno. Es el modelo usual de subrutina descendente en donde el control comienza al inicio de una jerarquía de subrutina y a través de las llamadas a subrutinas, el control pasa a niveles inferiores en el árbol de jerarquía. El modelo de subrutinas solamente se aplica a sistemas que sean secuenciales.

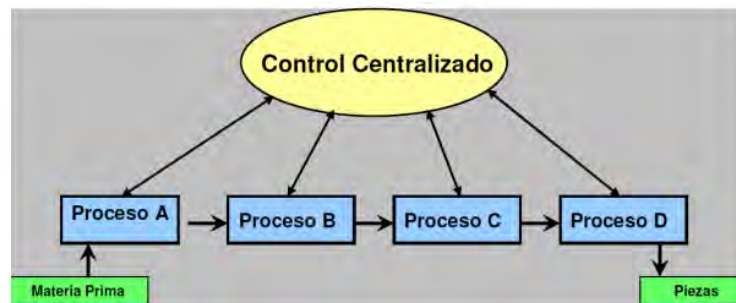
El modelo del gestor. Es aplicable a sistemas concurrentes. Un componente del sistema se diseña como un gestor del sistema y controla el inicio, parada y coordina el resto del proceso del sistema. Un proceso es un subsistema o módulo que puede ejecutarse en paralelo con otros procesos. Una variante de este

⁹ Arquitectura de un sistema de información [en línea]. Montevideo: Pedeciba, 2010. [Consultado 17 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: http://www.pedeciba.edu.uy/bioinformatica/sibdyw/Clase_3.pdf

modelo también puede aplicarse a sistemas secuenciales en donde la rutina de gestión llama a subsistemas particulares dependiendo de los valores de algunas variables de estado.

La ilustración 8 muestra la arquitectura básica de un Control Centralizado, este tipo de arquitectura se encuentra constituido por una computadora o una estación de operación, que figura como la interfaz entre el operador y el sistema, su mayor cualidad es la de facilitar el flujo de información debido a su topología haciendo posible que los resultados esperados del sistema puedan ser obtenidos.

Ilustración 8. Arquitectura general de un sistema de control centralizado

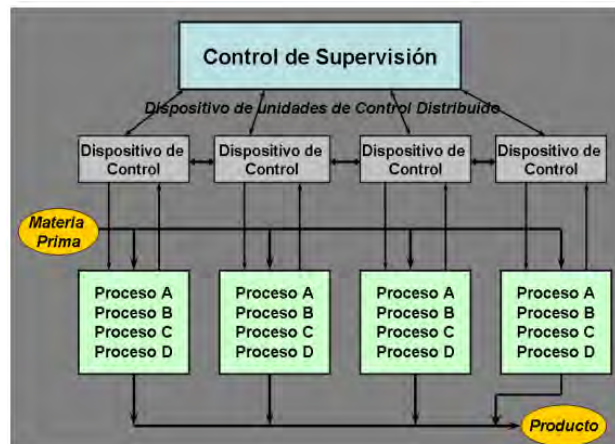


Fuente: LEON, Alejandro. Sistemas de control distribuido (SCD) [en línea]. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2015. [Consultado 02 de diciembre de 2016]. Disponible en internet: <https://es.slideshare.net/alleonchile/sistemas-de-control-distribuido-dcs-7298975>

- **Control distribuido.** Es aquel que usualmente se refiere a procesos de manufactura, de grandes industrias o cualquier tipo de Sistema Dinámico, son fundamentalmente aquellos que operan en tiempo continuo y en el que los elementos de control no se encuentran centralizados en una locación específica, sino que se encuentran instalados a través de todo el sistema, en donde cada componente o subsistema es controlado por uno o más controladores, con el fin de utilizar uno de ellos para uno o más lazos de regulación en el propio sistema. Usualmente se emplea un solo canal de alta velocidad que también los monitorea y lleva a cabo el control integral de toda la infraestructura, los SCD se caracterizan por este atributo informático cuya estructura presenta una jerarquización muy marcada.

Estos sistemas aportan diversas ventajas con respecto a otros ya que se desarrollan y diseñan a base de módulos seccionados que bien, pueden ser de hardware o de software que simplifica un cambio interno en su arquitectura y facilita la ubicación de fallas o averías, cuentan con un amplio campo de algoritmos de regulación o control, que generalmente, son seleccionables por medio de menús y también son de fácil mantenimiento.

Ilustración 9. Arquitectura general de un sistema de control distribuido



Fuente: LEON, Alejandro. Sistemas de control distribuido (SCD) [en línea]. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2015. [Consultado 02 de diciembre de 2016]. Disponible en internet: <https://es.slideshare.net/alleanchile/sistemas-de-control-distribuido-dcs-7298975>

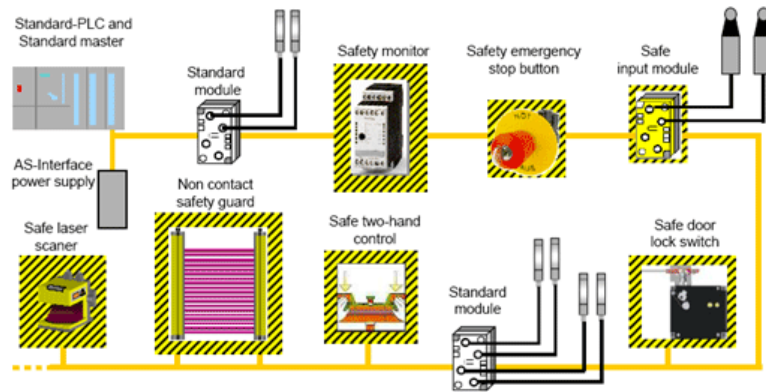
Existen varias unidades de control comunicadas entre sí que realizan las tareas del sistema, de esta forma, en caso de alguna falla dentro del sistema será posible la transmisión de la ejecución de las tareas correspondientes a otro controlador, con esto se logra evitar que una sola falla afecte el proceso completo en una planta.¹⁰

- **Bus de campo ASI.** Es el bus donde se encuentra el nivel de sensores y actuadores, está formado por elementos de medida (sensores) y mando (actuadores tales como motores, válvulas calentadores) distribuidos en una línea de producción. Son los elementos más directamente relacionados con el proceso productivo ya que los actuadores son los encargados de ejecutar las órdenes de los elementos de control para modificar el proceso productivo, como característica

¹⁰ LEON, Alejandro. Sistemas de control distribuido (SCD) [en línea]. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2015. [Consultado 02 de diciembre de 2016]. Disponible en internet: <https://es.slideshare.net/alleanchile/sistemas-de-control-distribuido-dcs-7298975>

los sensores y actuadores suelen ser dispositivos que necesitan ser controlados por otros elementos.

Ilustración 10. Estructura de comunicación ASI



Fuente: STALLINGS, William. Fundamentos de seguridad en redes, aplicaciones y estándares [en línea]. 2da edición. Madrid: Pearson Education. 2004. p. 214. [Consultado 20 de diciembre de 2016]. Disponible en internet: [http://www.academia.edu/22539038/Fundamentos de seguridad en redes Aplicaciones y est%C3%A1ndares 2da Edici%C3%B3n](http://www.academia.edu/22539038/Fundamentos_de_seguridad_en_redes_Aplicaciones_y_est%C3%A1ndares_2da_Edici%C3%B3n)

- **Ethernet.** Es un estándar de transmisión de datos para redes de área local que se basa en el principio de todos los equipos en una red Ethernet están conectados a la misma línea de comunicación. Se utiliza para computadores con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones. El Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Lo último para tener en cuenta es los diferentes procesos que se van a estudiar durante la elaboración del proyecto.¹¹

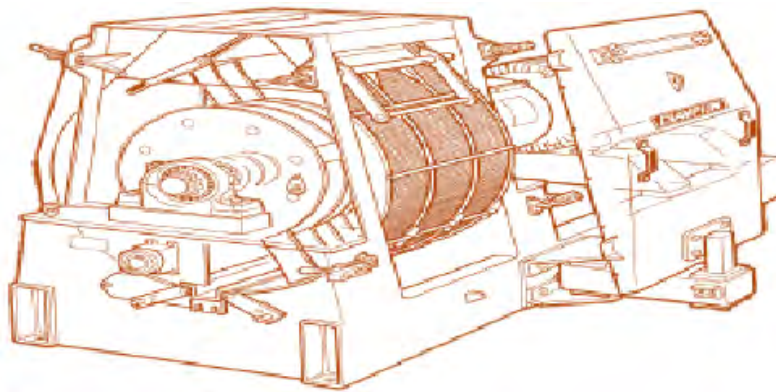
- **Proceso de Molienda.** La molienda es una operación que implica una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza. Es de suma importancia en los procesos de fabricación de alimentos balanceados.

¹¹ STALLINGS, William. Fundamentos de seguridad en redes, aplicaciones y estándares [en línea]. 2da edición. Madrid: Pearson Education. 2004. p. 214. [Consultado 20 de diciembre de 2016]. Disponible en internet: [http://www.academia.edu/22539038/Fundamentos de seguridad en redes Aplicaciones y est%C3%A1ndares 2da Edici%C3%B3n](http://www.academia.edu/22539038/Fundamentos_de_seguridad_en_redes_Aplicaciones_y_est%C3%A1ndares_2da_Edici%C3%B3n)

El tamaño de partículas afecta en forma directa la mezcla, el peletizado y la extrusión.

La molienda es una operación unitaria que reduce el tamaño de las partículas. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta lograr el tamaño deseado.¹²

Ilustración 11. Molino de martillos



Fuente: AMAYA, Johanna y GARCÍA, Juan Carlos. Libro de ITALCOL, Molienda. Palmira, 2013. p.1

○ **Dosificación y pesaje.** El objetivo de la dosificación y pesaje es garantizar que los productos y cantidades que tienen una fórmula se adicionan en forma precisa. El sistema de dosificación y pesaje está compuesto por: conjunto de tolvas de dosificación de materias primas tornillos sin fines o raseras.

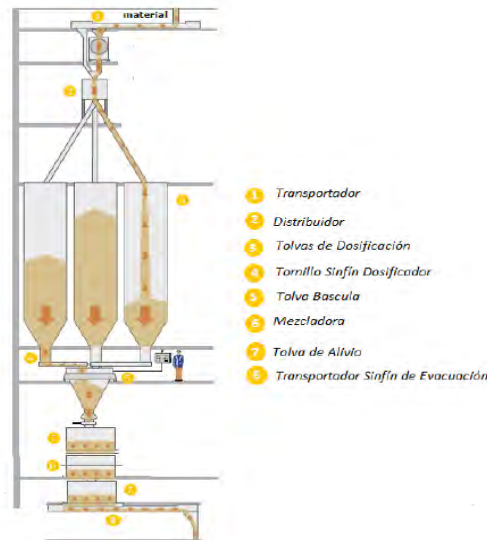
Para el control del pesaje se usa un sistema de pesaje basado en un Controlador Lógico Programable (velocidad gruesa y fina ajustable para cada tolva, material en vuelo) y secuencia de mezcla. Las tolvas básculas deben estar sobre estructuras fuertes, que no transmitan vibración y que no tengan deformaciones que afecten la medición de las celdas de carga. El rango de error de dosificación suele ser menor para sólidos ($\pm 0,02-0,05$ Kg) que para líquidos ($\pm 0,1-0,2$ kg).

Para lograr la precisión de la dosificación se debe utilizar y controlar la adición de los ingredientes con los sistemas adecuados para cada tipo de materia prima. Tenga en cuenta el comportamiento de los ingredientes utilizados, su fluidez, la presentación: harina o granulado, su densidad y tamaño, esto determinará que

¹² AMAYA, Johanna y GARCÍA, Juan Carlos. Libro de ITALCOL, Molienda. Palmira, 2013. p .1

componentes utilizar. Sí un sistema de rasera o un tornillo sinfín con paso variable y/ o constante.¹³

Ilustración 12. Sistema de dosificación



Fuente: AMAYA, Johanna y GARCÍA, Juan Carlos. Libro de ITALCOL, Dosificado. Palmira, 2013. p.2

Tipos de señales que necesitan los actuadores (discretas (110Vac-24Vdc)-análogas (4-20mA)).

- **Empaque.** El objetivo principal de todo sistema de empaque aplicado a productos alimenticios es preservar la esterilidad hasta su uso, sin embargo la presentación del empaque es un factor clave del producto que atrae la atención del comprador y está asociado con la percepción de calidad del mismo.

El comprador observa en el empaque un sistema de protección fundamental del producto que facilita su distribución y está intrínsecamente ligado a su manipulación, conservación y transporte.

Podríamos decir que “el envase protege lo que vende y vende lo que protege”, además se le denomina el “vendedor silencioso”, por lo tanto el empaque es un mensaje directo que el producto envía al consumidor. Su estado, su color, sus

¹³ AMAYA, Johanna y GARCÍA, Juan Carlos. Libro de ITALCOL, Dosificado. Palmira, 2013. p .2

costuras e identificación debe tener el mejor estado posible ya que dentro de la cadena de suministro la relevancia del empaque respalda la autenticidad, calidad y desde luego la comercialización del producto.

El proceso de empaque incluye el pesaje del alimento, el ensacado del producto, el cierre e identificación de cada bulto, el registro de la información de empaque en los sistemas de control para la liquidación de órdenes de producción y la ubicación del alimento en la zona de almacenamiento en la bodega.¹⁴

Ilustración 13. Sistema de empaque



Fuente: AMAYA, Johanna y GARCÍA, Juan Carlos. Libro de ITALCOL, Empaque. Palmira, 2013. p.3

¹⁴ AMAYA, Johanna y GARCÍA, Juan Carlos. Libro de ITALCOL, Empaque. Palmira, 2013. p. 3

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de automatización para los procesos de dosificación, molienda y gestión de materias primas de alimentos balanceados, con el fin de aumentar la productividad y mejorar los costos de producción de la empresa de Alimentos Concentrados.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento de información del sistema actual.
- Analizar los parámetros y variables de las distintas rutas que son empleadas para el transporte de materia prima y producto terminado.
- Diseñar esquemas que permitan la optimización de los elementos eléctricos como electrónicos para que garantice el control de cada una de los sistemas.
- Diseñar la arquitectura del sistema.
- Seleccionar los elementos adecuados tales como sensores, controladores y cableado para lograr un buen funcionamiento.
- Elaborar de la estrategia de control.
- Cotizar materiales de equipos para la implementación.

6. METODOLOGÍA

Para realizar la automatización de las líneas acuícola y pecuaria en los procesos de dosificación, molienda y gestión de materias primas se tiene planteado aplicar la metodología aprendida durante los semestres como estudiantes de ingeniería, la cual se basa en un diseño concurrente que consiste en realizar el trabajo de forma simultanea para las diferentes disciplinas como sistemas mecánicos, eléctricos y de control para así lograr obtener un diseño óptimo. El diseño concurrente consta básicamente de 6 fases las cuales deben realizarse de forma secuencial para así garantizar el mejor diseño que da solución a la situación problema. Las fases son las siguientes:

- **Planificación:** consta básicamente de las actividades previas antes del desarrollo conceptual.
- **Desarrollo conceptual:** hace referencia a las primeras etapas de desarrollo que consta de levantar información sobre el sistema de automatización ya existente (funcionamiento), realizar inventario de sensores, actuadores, controladores y sistemas mecánicos, verificar rutas de cableado actual, identificar las diferentes restricciones del proyecto y establecer las estrategias para lograr gestionar el proyecto.
- **Diseño detallado:** en esta etapa se define la geometría de las partes, selecciona los materiales, componentes y se definen los elementos que podrían ser reemplazados por otros que garanticen el correcto funcionamiento. Además de realizar las diferentes pruebas de fiabilidad, tiempo de vida, desempeño, se obtienen las aprobaciones regulatorias, además de realizar los cambios necesarios para el diseño.

Para la recolección de información se tiene planeado realizar mediante libros físicos y digitales que estén relacionados con la automatización industrial. Como se sabe ya hay varias empresas que son completamente por lo que se puede encontrar un sin número de tesis relacionadas con el tema, además se cuenta con el apoyo total de la empresa GF INGENIERÍA S.A. que dispone de toda la información necesaria facilitada por la empresa Alimentos Concentrados.

6.1 ETAPAS DEL PROYECTO

Las etapas del proyecto con las cuales se cumplirán uno a uno los objetivos específicos para así lograr el alcance general planteado en el proyecto son las siguientes:

- Búsqueda de información respecto a los procesos de dosificación, molienda y gestión de materias primas, además de recolectar información del estado actual de la planta, descripción de los procesos en las líneas acuícola y pecuaria.
- Analizar la información anteriormente adquirida para así determinar los parámetros necesarios, estudiando así las variables físicas involucradas en cada uno de los procesos.
- Cuando ya se tiene la adquisición de información necesaria hace falta los planos e inventario de los componentes ya existentes en las líneas de producción para de esta manera determinar las dimensiones donde será diseñado el proceso, garantizando así optimizar los espacios para la instalación de los componentes.
- Una vez se tiene el inventario y los diagramas de los procesos se realiza el diseño de la arquitectura del sistema, que consta de seleccionar el controlador del sistema, la arquitectura de red y distribución de los equipos.
- Posteriormente se selecciona los sensores, dispositivo de control y actuadores que cumplan con las características específicas requeridas para el diseño.
- En cuanto al funcionamiento queda faltando realizar la estrategia de control encargada del correcto funcionamiento de todo el sistema. Para por último realizar la cotización de todos los componentes necesarios para su implementación.

7. DESARROLLO CONCEPTUAL

7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

La planta esta subdivida en tres secciones: Recepción, Línea acuícola y Línea pecuaria. A continuación, se brindará una explicación rápida de las rutas, secuencias y procesos que se realizan en la planta.

Durante las explicaciones a seguir, es recomendable revisar los Anexos A, B, C y D, los cuales se encuentran al finalizar este documento. Las citas a nombre de equipos que se hagan en este documento se refieren exclusivamente a los equipos contenidos en los anexos mencionados.

- **Recepción.** El proceso de recepción de materia prima encierra dos tipos de materia prima: sólida (granos y harinas), y líquida (aceites y melaza).
- **Línea Acuícola.** Para la descripción del proceso de la línea acuícola mirar los Anexos A y B. Control por lotes: la línea acuícola consta de nueve tolvas de ingredientes (TK-019 a TK-027), también llamadas de almacenamiento temporal.

Al pie de cada una de las tolvas de almacenamiento temporal anteriormente mencionadas se halla un transportador de tornillo sin fin que recibe comandos desde el controlador de dosificación para la línea acuícola. La receta del producto que se vaya a elaborar indica la cantidad de cada ingrediente que es necesario agregar. De acuerdo a estas cantidades, el controlador de dosificación accionara controladamente los transportadores de tornillo (TR-098, TR-096, TR-044, TR-045, TR-046, TR-047, TR-048, TR-049, TR-050).

Una báscula (TK-028) recibe la descarga de cada uno de los nueve tornillos, y provee el valor de la variable de proceso (peso) para un control de lazo retroalimentado que regula con precisión las velocidades de giro de los tornillos alimentadores. Como es esta única báscula el equipo que mide las cantidades de cada ingrediente, sólo un ingrediente se puede añadir a la vez.

El sistema verifica los pesos parciales que registra la báscula después de cada etapa de adición contra un patrón pre-configurado. El sistema debe ser capaz de auto compensar cualquier desviación en el peso de cada ingrediente.

Una vez que todos los ingredientes necesarios se encuentren en la báscula y se haya alcanzado el peso total esperado, el sistema automáticamente abre la válvula neumática de guillotina A-CV-1, descargando el contenido en el pre-mezclador A-002 para iniciar el proceso de pre-mezcla. Este equipo debe entrar en funcionamiento previo a la descarga desde la báscula TK-028. La pre-mezcla toma un minuto, y cuando se cumpla este tiempo, se abre la compuerta neumática A-CV-2, transfiriendo el lote a la tolva auxiliar TK-030 y luego al transportador TR-212 que desemboca en el elevador EL-213.

Desde este punto, el lote puede ser desviado a cualquiera de las dos baterías de molienda que esté disponible aguas abajo, siendo el diverter A-CV-4 el accionamiento que dirija en una u otra vía el producto. La tolva TK-031, válvula de esclusa A-CV-5 y el molino C-003 forman un conjunto; y la tolva TK-032, válvula de esclusa A-CV-6 y molino de martillos C-004 crean el otro conjunto restante de molienda. El flujo de material que pasa por estos no es retenido, y después de ser molido, pasan al Plenum TK-033 y Plenum TK-034 respectivamente, y se deposita en las tolvas auxiliares TK-035 y TK-036 mediante los conjuntos de transportadores de tornillos y esclusas TR-051 / A-CV-7 y TR-052 / A-CV-9 y luego a la tolva. Estas tolvas sirven de búfer de retención para los mezcladores A-003 y A-004 que les siguen aguas abajo.

Las válvulas neumáticas de guillotinas A-CV-10 y A-CV-11, ubicadas en la descarga de las tolvas TK-035 y TK-036, controlan la transferencia hacia las mezcladoras A-003 y A-004. A estos mezcladores son añadidos los llamados micro-ingredientes en menor cantidad, desde las tolvas de descarga manual TK-029 y TK-018, cada una sirviendo a un mezclador. La adición de estos ingredientes se realiza después de la llegada de los ingredientes pesados en la báscula. El operador pulsará una botonera ubicada en planta una vez halla añadido los micro- ingredientes manualmente, indicando que la etapa de adición de materia prima ha finalizado y se debe iniciar la etapa de mezclado.

El accionamiento de la válvulas A-CV-8 hará que el contenido del mezclador que las antecede sea vertido en la tolva TK-037, siendo conducida por el transportador TR-304-A hacia los elevador EL-305. Por otro lado, el accionamiento de la válvulas A-CV-25 hará que el contenido del mezclador que las antecede sea vertido en la tolva TK-038, siendo conducida por el

transportador TR-304-B hacia los elevador EL-109. Las tolvas TK-037 y TK-038 tienen sendos sensores de presencia A-LS-4 Y A-LS-5, que posibilitan detectar cuando se ha vaciado. A partir del desalojo de las tolvas TK-037 y TK-038, se puede considerar que los procesos de fabricación que prosiguen son de tipo continuo.

En este punto, es conveniente resaltar la dinámica de producción por lotes de la línea: pueden haber hasta seis lotes diferentes en la línea, posicionados en diferentes conjuntos de equipos. Por ejemplo, ambos conjuntos de mezclado pueden procesar un lote a la vez, un lote F en el mezclador A-003, un lote E en el mezclador A-004. Aguas arriba, mientras un lote D puede estar siendo procesado en el molino C-004, un cuarto lote C puede estar en el molino C-003, mientras un lote B espera desde la tolva TK-030 hacia la entrada del diverter A-CV-4, y un sexto lote A está en la básculas TK-28.

Control continuo: el elevador EL-305 descarga en la entrada del distribuidor U-007, y el transportador de tornillo TR-056 recibe el producto desde descarga del elevador EL-109 y lo ubica en la entrada de la limpiadora de tambor V-002. Desde esta limpiadora, el producto pasa al diverter A-CV-12, que conecta sus salidas a la entrada de los distribuidores U-006 y U-007, que pueden re-dirigir el flujo hacia las seis tolvas de almacenamiento temporal de producto mezclado (TK-039 a TK-044), es decir, cada tolva tienen una doble alimentación desde la descarga de los dos distribuidores.

Línea Pecuaria. Para la descripción del proceso de la línea acuícola mirar los Anexos C y D. Control por lotes: La línea pecuaria cuenta con un conjunto de doce tolvas de almacenamiento temporal de ingredientes (TK-053 a TK-064). En similitud a los conjuntos de dosificación descritos en la línea Acuícola, en comando del control de dosificación, los transportadores extraen los ingredientes desde la parte baja de estas tolvas hacia dos básculas de pesaje. Los transportadores TR-079, TR-080 y TR-081 extraen desde las tolvas TK-053, TK-04 y TK-055 respectivamente, y transfieren hacia la báscula de pesaje TK-065, junto con lo que los transportadores TR-082 a TR-086 extraigan de las tolvas TK-056 a TK-060 correspondientemente.

Los juegos de tolvas y transportadores de dosificación restantes (TK-061, TR-087; TK-062, TR-088; TK-063, TR-089; TK-064 y TR-090) descargan a una segunda báscula de pesaje, denominada TK-066. Al igual que para la línea Acuícola, las básculas son el elemento de medida de dosificación.

Después de realizar las tareas de pesajes parciales y comprobar el peso total en cada una de las básculas, válvulas neumáticas de guillotina P-CV-1 y P-CV-2, cada una ubicada a la salida de una báscula, descargan el producto pesado a la mezcladora A-005, que también recibe materia prima desde una tolva de descarga manual, y los ingredientes líquidos provenientes de bombas de desplazamiento positivo P-001 y P-002, que bombean aceite de palma desde un tanque diario de producción, y melaza directamente desde conducto proveniente de ingenio aledaño.

Medidores de flujo son la interfaz de información para que el sistema de control tenga referencia de cumplimiento de la receta y controle el arranque y parada de estas bombas (El sistema debe contemplar una futura migración del sistema de medición de flujo a medición por peso). Una vez los operarios de descarga manual confirmen al sistema de control de la realización del vertido de los ingredientes correspondientes mediante pulsación de botonera en campo, y se haya bombeado la cantidad adecuada de líquidos dentro de la mezcladora; se iniciará un temporizador de mezcla llevado por el sistema de control, que una vez se cumpla, señalizará la actuación de apertura de la válvula neumática de guillotina P-CV-3, liberando el lote mezclado hacia la tolva auxiliar de recepción TK-071 y de allí al transportador TR- 025, que llevará la mezcla hacia la toma del elevador EL-026 y luego a la toma del distribuidor U-024.

Un sensor de presencia P-LS-1 detecta cuando se vacía la tolva TK-071, habilitando la descarga del siguiente lote. Tal y como se hizo la observación anteriormente en el detalle de la línea Acuícola, esta línea también puede manejar múltiples lotes: al mismo tiempo que un lote es transportado desde la tolva auxiliar TK-071 hacia el distribuidor U-024, otro lote puede estar siendo mezclado en A-005, a la vez que los ingredientes sólidos que formarán parte del próximo lote están siendo pesados en las básculas TK-065 y TK-066.

Control continuo: el distribuidor U-024 se conecta a seis tolvas de intermedias de proceso (TK-072 a TK-077), y el operador del sistema de control elige la ruta para el bache en proceso.¹⁵

¹⁵ Documento de Alimentos Concentrados, Especificación técnica y pliego de cargos. Ciudad de Panamá, 2016. p. 6-10. 1 archivo de computador.

7.2 INVENTARIO Y CODIFICACIÓN DE LA PLANTA

A continuación se muestra el inventario y codificación de la planta de Alimentos Concentrados, además se muestran la cantidad de entradas y salidas de los equipos que lo requieren.

Tabla 1. Codificación de las secciones de planta

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
01	Materias primas
02	Molienda materias primas
03	Dosificación y mezcla línea acuícola
04	Molienda línea acuícola
05	Peletizado y extruído línea acuícola
06	Producto terminado línea acuícola
07	Dosificación y mezcla línea pecuaria
08	Peletizado línea pecuaria
09	Producto terminado línea pecuaria
10	Servicios industriales
11	Servicios generales

Tabla 2. Codificación de equipos

ÍTEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	ACN	Acondicionador térmico	8
3	BMB	Bomba	6
4	CCN	Ciclón	3
5	CHT	Chute	8
6	CMP	Compuerta rasera	53
7	CRT	Cortador	1
8	DST	Distribuidor rotativo	6
9	DVT	Diverter	14
10	ELV	Elevador de cangilones	12
11	EMP	Empacadora	2
12	ENF	Enfriador de cascada	2
13	ENF	Enfriador de contraflujo	1
14	ENG	Engrasador	4

Tabla 3. (Continuación)

16	EXC	Exclusa rotativa	13
17	EXT	Extrúder	1
18	FLT	Filtro de mangas	2
19	IMN	Imán	2
20	LMP	Limpiadora rotativa	3
21	MZC	Mezcladora de cintas	4
22	MMT	Molino de martillos	2
23	MRD	Molino de rodillos (Quebrantador)	4
24	PLT	Peletizadora	5
25	SCD	Secador de lecho fluido	1
26	SLO	Silo	6
27	SPL	Soplador	1
28	TQB	Tanque Báscula	6
29	TQE	Tanque	4
30	TVA	Tolva	51
31	TVB	Tolva Báscula	3
32	TRB	Transportador de banda	2
33	TRC	Transportador de cadena	28
34	TRT	Transportador de tornillo	26
35	TVT	Triverter	8
36	VLV	Válvula	15
37	VNT	Ventilador de ciclón	5
38	ZRN	Zaranda	3
		Total	315

En la tabla 3 se muestra el inventario realizado en la planta de Alimentos Concentrados, se observa que hay 38 ítems de equipos, hay que destacar que este es un inventario resumido ya que en este se mencionada la cantidad exacta de cada equipo pero no se dice la línea de producción a la que pertenece y tampoco la zona.

Tabla 3. Codificación de equipos de instrumentación y actuadores

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
LIH	Switch de nivel alto
LIL	Switch de nivel bajo

Tabla 4. (Continuación)

IIT	Transmisor de corriente
SIL	Switch de baja velocidad
WIT	Transmisor de peso
YLO	Switch de posición abierto
YLC	Switch de posición cerrado
YL	Switch de posición (Presencia)
LL	Estado de motor
S	Bobina de electroválvula
KM	Contactador
VFD	Variador de velocidad

De la anterior codificación de toda la planta se procede a poner la cantidad de entradas y salidas por equipo, se menciona su codificación con sus respectivas entradas digitales (DI), salidas digitales (DO), entradas analógicas (AI), salidas analógicas (AO) y entradas analógicas para las celdas de carga (AI CEL).

Tabla 4. Cantidad de IOs de los equipos de la planta

Codificación	DI	DO	AI	AO	AI CEL	Codificación	DI	DO	AI	AO	AI CEL
01-TRC-001	1	1				05-CMP-024	2	1			
01-ELV-001	2	1				05-CMP-025	2	1			
01-TVT-001	4	4				05-CMP-026	2	1			
01-TRC-002	1	1				05-TRT-033	1				
01-TRC-003	1	1				05-EXC-008	1				
01-CMP-001	2	1				05-ACN-001A	1				
01-CMP-002	2	1				05-ACN-001B	1				
01-CMP-003	2	1				05-PLT-001	1				
01-CMP-004	2	1				05-PLT-001	1				
01-SLO-001						05-ACN-001C	1				
01-SLO-002						05-CMP-027	2	1			
01-SLO-003						05-CMP-028	2	1			
01-SLO-004						05-TRT-035	1				
01-SLO-005						05-EXC-009	1				
01-SLO-006						05-ACN-002A	1				
01-CMP-005	2	1				05-ACN-002B	1				

Tabla 5. (Continuación)

01-CMP-006	2	1				05-PLT-002	1				
01-CMP-007	2	1				05-PLT-002	1				
01-CMP-008	2	1				05-ACN-002C	1				
01-CMP-009	2	1				05-CMP-029	2	1			
01-CMP-010	2	1				05-CMP-030	2	1			
01-EXC-001	1	1				05-DVT-010	2	2			
01-EXC-002	1	1				05-TRT-036	1				
01-EXC-003	1	1				05-TRT-037	1				
01-TRC-004	1	1				05-EXC-010	1				
01-CMP-011	2	1				05-ACN-003	1				
01-TRT-005	1	1				05-EXT-001	1				
01-TRC-006	1	1				05-CRT-001	1				
01-TRC-007	1	1				05-CMP-031	2	1			
01-TRC-008	1	1				05-SCD-001	1				
01-ELV-002	2	1				05-SPL-001	1				
01-TVT-002	4	4				05-CCN-001	1				
01-DVT-001	2	2				05-CMP-032	2	1			
01-DVT-002	2	2				05-EXC-011	1				
01-TRT-009	1	1				05-VNT-003	1				
01-ELV-003	2	1				05-VNT-004	1				
01-DVT-003	2	2				05-CCN-002	1				
01-TRC-010	1	1				05-EXC-012	1				
01-TRC-011	1	1				05-ENF-001	1				
01-DST-001	8	1				05-CMP-033	2	1			
01-DST-002	8	1				05-TRC-034	1				
01-TRT-012	1	1				05-ELV-009	1	1			
01-ELV-004	2	1				05-DVT-011	1				
01-TRC-013	1	1				05-ZRN-001	1				
01-DST-003	12	1				05-TVT-004	1	1			
01-TQE-001						05-TVT-005	1	1			
01-BMB-001	0	1				05-ENF-002	1				
01-TQE-002						05-CMP-034	2	1			
01-BMB-002A	0	1				05-TRC-038	1	1			
01-BMB-002B	0	1				05-ELV-010	1	1			
01-BMB-002C	0	1				05-ZRN-002	1				
01-TQE-003						05-TVT-006	4	4			

Tabla 5. (Continuación)

01-BMB-003	0	1				05-TVT-007	4	4			
01-TQE-004						06-TVA-025	1				
01-BMB-004	0	1				06-TVA-026	1				
02-TVA-001	2					06-TVA-027	1				
02-TVA-002	2					06-TVA-028	1				
02-CMP-012	2	1				06-TVA-029	1				
02-CMP-013	2	1				06-TVA-030	1				
02-DVT-004	2	2				06-CMP-035	2	1			
02-TRT-014	2	1		1		06-CMP-036	2	1			
02-MMT-001	2	1	1			06-CMP-037	2	1			
02-TRC-015	1	1				06-CMP-038	2	1			
02-CMP-014	2	1				06-CMP-039	2	1			
02-TRC-016	1	1				06-CMP-040	2	1			
02-TRT-017	2	1		1		06-TRC-039	1				
02-MMT-002	2	1	1			06-ENG-001	1				
02-ELV-005	2	1				06-ENG-001	1				
02-DVT-005	2	2				06-MZT-004	1				
02-TVT-003	4	4				06-DVT-012	1				
03-TVA-003	2					06-ENG-002	1				
03-TVA-004	2					06-ENG-002	1				
03-TVA-005	2					06-MZT-005	1				
03-TVA-006	2					06-TVT-008	1				
03-TVA-007	2					06-TVA-031	1				
03-TVA-008	2					06-TVA-032	1				
03-TVA-009	2					06-TVA-033	1				
03-TVA-010	2					06-TVA-034	1				
03-TVA-011	2					06-CMP-041	2	1			
03-TRT-018		1				06-CMP-042	2	1			
03-TRT-019		1				06-CMP-043	2	1			
03-TRT-020		1				06-CMP-044	2	1			
03-TRT-021		1				06-EMP-001					
03-TRT-022		1		1		06-TRB-040					
03-TRT-023		1				07-TVA-101	2				
03-TRT-024		1				07-TVA-102	2				
03-TRT-025		1				07-TVA-103	2				
03-TRT-026		1				07-TVA-104	2				
03-TVB-001					1	07-TRT-101		1			

Tabla 5. (Continuación)

03-CMP-015	2	1				07-TRT-102		1		1	
03-MZC-001	1	1				07-TRT-103		1			
03-CMP-016	2	1				07-TRC-104		1			
03-TVA-012	2					07-TVB-101					1
03-TRC-027	1	1				07-CMP-101	2	1			
03-ELV-006	2	1				07-TVA-105	2				
03-LMP-001	1	1				07-TVA-106	2				
03-IMN-001						07-TVA-107	2				
03-DVT-006	2	2				07-TVA-108	2				
04-TVA-013	2					07-TVA-109	2				
04-EXC-004	2	1		1		07-TVA-110	2				
04-MMT-003	2	1	1			07-TVA-111	2				
04-VNT-001	1	1				07-TVA-112	2				
04-FLT-001						07-TRC-105		1			
04-TRT-028	1	1				07-TRC-106		1			
04-EXC-005	1	1				07-TRC-107		1			
04-TVA-014	2					07-TRC-108		1		1	
03-CMP-017	2	1				07-TRC-109		1			
03-VLV-001		1				07-TRC-110		1			
03-VLV-002		1				07-TRC-111		1			
03-VLV-003		1				07-TRC-112		1			
03-VLV-004		1				07-TVB-102					1
03-TQB-002					1	07-CMP-102	2	1			
03-VLV-005		1				07-VLV-101		1			
03-MZC-002	1	1				07-VLV-102		1			
03-CMP-018	2	1				07-VLV-103		1			
03-TVA-015	2					07-VLV-104		1			
03-TRC-029	1	1				07-TQB-103					1
03-ELV-007	2	1				07-VLV-105		1			
03-DVT-007	2	2				07-MZC-101	1	1			
04-TVA-016	2					07-CMP-103	2	1			
04-EXC-006	2	1		1		07-TVA-113	1				
04-MMT-004	2	1	1			07-TRC-113	1	1			
04-VNT-002	1	1				07-ELV-101	2	1			
04-FLT-002						07-DST-101	12	1			
04-TRT-030	1	1				08-TVA-114	2				
04-EXC-007	1	1				08-TVA-115	2				

Tabla 5. (Continuación)

04-TVA-017	2					08-TVA-116	2				
03-CMP-019	2	1				08-CMP-104	2	1			
03-VLV-006		1				08-CMP-105	2	1			
03-VLV-007		1				08-CMP-106	2	1			
03-VLV-008		1				08-DVT-101					
03-VLV-009		1				08-TRT-114	1	1			
03-TQB-003					1	08-ACN-101	1				
03-VLV-010		1				08-PLT-101	1				
03-MZC-003	1	1				08-ENF-101	1				
03-CMP-020	2	1				08-VNT-101	1				
03-TVA-018	2					08-CCN-101	1				
03-TRC-031	1	1				08-EXC-101	1				
03-ELV-008	2	1				08-TRC-115	1	1			
03-DVT-008	2	2				08-ELV-102	1	1			
03-IMN-002						08-ZRN-101	1				
03-TRT-032	1	1				08-DVT-102	2	2			
03-LMP-002	1	1				09-TVA-117	1				
03-DVT-009	2	2				09-TVA-118	1				
03-DST-004	6	1				09-TVA-119	1				
03-DST-005	6	1				09-CMP-107	2	1			
05-TVA-019	2					09-CMP-108	2	1			
05-TVA-020	2					09-CMP-109	2	1			
05-TVA-021	2					09-LMP-101	1	1			
05-TVA-022	2					09-TVA-120	1				
05-TVA-023	2					09-EMP-101					
05-TVA-024	2					09-TRB-116					
05-CMP-021	2	1									
05-CMP-022	2	1									
05-CMP-023	2	1									
Subtotal	229	132	4	5	3		192	72	0	2	3
Total	421	204	4	7	6						

En la tabla 5 se muestra la cantidad de entradas y salidas mínimas utilizadas para la automatización que son las siguientes 421 entradas digitales, 204 salidas digitales, 4 entradas análogas, 7 salidas análogas y 5 entradas análogas para las celdas de carga. Las entradas que se encuentran en negrilla corresponden al control de pesaje de dosificación el cual es controlado por un variador de velocidad, todos los transportadores son activados y controlados por el mismo

variador de frecuencia, por eso se necesita una sola salida de señal analógica. Para el caso de los distribuidores solo cuentan con una salida y la cantidad de posiciones hacia las tolvas corresponden a las entradas confirmando la posición del motor.

Teniendo la codificación se realiza el diagrama de flujo de la planta completa, incluyendo los procesos de peletizado, extrusión y empaque, este diagrama se encuentra al final del documento en el anexo E.

7.3 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

De acuerdo a la información suministrada por la empresa sobre el diseño original y existente, la descripción del proceso, mediante una lluvia de ideas propuestas por el grupo de trabajo y consultas a fondo sobre el tema, se identificaron diferentes grupos donde se clasifican las necesidades del cliente.

Son 5 los grupos en los que se clasificaron las necesidades, a continuación se explica a que hace referencia cada uno de ellos:

- **Funcionamiento.** Este grupo tiene que ver con el correcto funcionamiento del diseño, es decir que necesariamente deben cumplirse estas necesidades para lograr dar solución al problema planteado, son necesidades muy relevantes que la empresa requiere para de esta manera lograr mejorar su proceso de producción en las dos líneas.
- **Optimización.** Debido a que son dos las líneas las que se deben automatizar, entonces se requiere que el diseño sea lo más óptimo posible, es decir que logré realizar el proceso de producción en ambas líneas a la vez, siempre que haya equipos libres en los cuales trabajar se deben poner en funcionamiento, el diseño no debe ralentizar el proceso por solapes en las formulas y tampoco por cruces en el uso de equipos.
- **Mantenimiento.** Este ítem hace referencia a todas las necesidades que tengan que ver con el correcto funcionamiento del diseño, aquellas que involucren estrategias para realizar mantenimientos correctivos y preventivos.

- **Monitoreo.** En este van la lista de necesidades que tengan que ver con la supervisión de recetas, formulas, baches, etc.

- **Seguridad.** En cuanto a la seguridad, aquí involucra tanto la seguridad para los operarios como para los equipos, es decir que las maquinarias que las personas van a operar debe ser seguro de hacerlo, en ningún momento se pueden hacer trabajos que atenten con la integridad física de la persona encargada de la máquina, además se habla de seguridad para los equipos ya que una vez puestos en marcha deben trabajar de forma correcta protegiéndolos de corto circuitos, sobre cargas, etc.

Tabla 5. Necesidades del cliente

IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	
FUNCIONAMIENTO	
1	El sistema permite el seguimiento de baches, desde las básculas hasta las tolvas asignadas para cada línea
2	El sistema cuenta con planos o diagramas para su correcto entendimiento y funcionamiento
3	El sistema permite la comunicación entre el controlador y las múltiples entradas/salidas
4	El sistema está abierto y accesible a cambios y a futuras expansiones para el monitoreo de otras variables necesarias
5	El sistema consta de una pantalla de visualización de mímicos
6	El sistema realiza una comunicación eficiente entre los equipos y el sistema de control
7	El sistema permite el control de procesos por lote
8	El sistema realiza la interrupción de producción en cualquier momento cerrando con el proceso del bache
OPTIMIZACIÓN	
9	El sistema permite realizar la dosificación de materias primas en las tres básculas de sólidos simultáneamente
10	El sistema realiza el control de hasta tres líquidos inyectados en la mezcladora simultáneamente
11	El sistema realiza el control del ciclo de mezcla y enclavamiento en ambas líneas simultáneamente
12	El sistema realiza el control de aditivos en ambas líneas simultáneamente
13	El sistema minimiza la cantidad de cableado entre la conexión de los equipos
14	El sistema permite manejar múltiples lotes en las línea de producción acuícola y pecuaria

Tabla 6. (Continuación)

MANTENIMIENTO	
15	El sistema permite operar cada uno de los equipos de forma manual
16	El sistema se adapta a condiciones de trabajo con humedades altas y ambientes con material particulado.
MONITOREO	
17	El sistema permite el control de errores de dosificación y compensación automática
18	El sistema indica el estado de las tolvas temporales de producto terminado para las dos líneas de producción
SEGURIDAD	
19	El sistema brinda seguridad en transportadores, elevadores y demás equipos de la planta
20	El sistema debe minimizar el riesgo de los operarios

Una vez se tienen claras las necesidades del cliente se procede a realizar las necesidades métricas que sirven para cuantificar éstas mismas y de esta forma poder evaluar para saber cuáles son las más importantes.

Tabla 6. Métricas

MÉTRICAS			
No.	NECESIDAD	MEDIDA	UNIDADES
1	9	Tiempo de dosificación	s
2	11	Cantidad de cable	m
3	13	Cantidad de lotes en la línea	#
4	1, 5, 18	Visualización	Subjetiva
5	3, 6	Velocidad de transferencia de datos	Bytes/s
6	7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 17	Porcentaje de automatización	%
7	19, 20	Porcentaje de riesgo	%
8	2, 4	Diseño editable	Subjetiva
9	16	Cumple normas para ambientes extremos	Subjetiva

En la tabla 7 se relaciona las necesidades del cliente pero de una forma cuantitativa, lo que se le llama como métricas, es decir trasladar las prioridades expresadas por el cliente en especificaciones del sistema, donde se involucra la medida que le corresponde a las necesidades del cliente con su respectiva unidad de medición.

7.4 ANÁLISIS QFD

Se usa el método QFD relacionar las necesidades del cliente con las métricas y así realizar la comparación entre éstas para determinar cuánta relación existe entre cada una de ellas y lograr obtener una ponderación de las mismas. La relación se observa en medio de la tabla donde se coloca los número 1-3-9 que representa el nivel de relación donde 1 es bajo, 3 es medio y 9 es alto.

En la tabla 9 también se compara las necesidades del cliente con los competidores que fueron mencionados en los antecedentes y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Antecedentes comparativos

COMPETIDORES	
A	Automatización de sistemas proactivos enfocados en plantas de alimentos balanceados
B	Pesaje para dosificación y formulación de alimento balanceado

Tabla 8. Método QFD

			MÉTRICAS								Competidores					
		IMPORTANCIA	Tiempo de dosificación	Cantidad de cable	Cantidad de lotes en la línea	Visualización	Velocidad de transferencia de datos	Porcentaje de automatización	Porcentaje de riesgo	Diseño editable	Cumple normas para ambientes extremos	1 (PEOR)	2	3	4	5 (MEJOR)
Necesidades del cliente																
1	El sistema permite el seguimiento de baches, desde las básculas hasta los distribuidores asignados para cada línea	9				9	3	1								A-
2	El sistema cuenta con planos o diagramas para su correcto entendimiento y funcionamiento	3								9		B				A
3	El sistema permite la comunicación entre el controlador y las múltiples entradas/salidas	9	3				9									A-
4	El sistema está abierto y accesible a cambios y a futuras expansiones para el monitoreo de otras variables necesarias	3								9						A-
5	El sistema consta de una pantalla de visualización de mímicos	9				9		3	1							A-
6	El sistema realiza una comunicación eficiente entre los equipos y el sistema de control	9		3			9	3					B		A	
7	El sistema permite realizar la dosificación de materias primas en las tres básculas de sólidos simultáneamente	9	9		9		3	3						A-B		
8	El sistema realiza el control de hasta tres líquidos inyectados en la mezcladora simultáneamente	9	9		9		3	3							A-B	
9	El sistema realiza el control del ciclo de mezcla y enclavamiento en ambas líneas simultáneamente	9						9							A-B	
10	El sistema realiza el control de aditivos en ambas líneas simultáneamente	9	9					9				B				A
11	El sistema minimiza la cantidad de cableado entre la conexión de los equipos	9		9				3				B				A
12	El sistema permite manejar múltiples lotes en las línea de producción acuícola y pecuaria	9			9			3								A-
13	El sistema permite el control de procesos por lote	9						9								A-B
14	El sistema permite poner actuar cada uno de los equipos de forma manual	3						9	9							A-B
15	El sistema realiza la interrupción de producción en cualquier momento cerrando el proceso del bache	9						9	9				B		A	
16	El sistema se adapta a condiciones de trabajo con humedades bajas y ambientes con material particulado.	3								9		B		A		
17	El sistema permite el control de errores de dosificación y compensación automática	9	9				3	9						A-B		
18	El sistema indica el estado de las tolvas temporales de producto terminado para las dos líneas de producción	3				9	3	3							A-B	
19	El sistema brinda seguridad en transportadores, elevadores y demás equipos de la planta	9							9						A-B	
20	El sistema debe garantizar la seguridad de los operarios	9							9							
Unidades						Subjetiva	Bytes/s	%	%	Subjetiva	Subjetiva					
	Puntaje	351	108	243	189	279	612	279	54	27						
	Porcentaje Relativo	6%	5%	11%	9%	13%	29%	13%	3%	1%						

Se observa en la tabla 9 que al realizar el análisis del método QFD se obtuvo que la métrica que más se relaciona con las necesidades del cliente es la del porcentaje de automatización con un 29%, seguido del tiempo de dosificación con un 16% y por último, la métrica más independiente es la que dice que si cumple con las normas en ambientes extremos con un 1% solamente. En cuanto a la comparación que se hizo sobre los diseños que ya existen en el mercado y las necesidades del cliente hay que mencionar que son soluciones muy aceptables ya que se observa que en la calificación ambas estuvieron entre 4 y 5 en la mayoría de las necesidades. De esta manera se enfocan los esfuerzos de diseño en las áreas que tuvieron un mayor porcentaje de interrelación.

7.5 GENERACIÓN DE CONCEPTO

En esta etapa se procede a realizar la generación de un concepto que brinda solución a la problemática planteada. En un sistema de automatización se tiene muchas funciones que combinadas logran el correcto funcionamiento de la productividad de una empresa, ya que en este proyecto se realiza la automatización de procesos de dosificación, molienda y gestión de materias primas se tienen las siguientes funciones con mayor relevancia en cuanto al diseño de automatización se refiere, ya que algunas de las funciones de toda la línea de producción están delimitadas por los equipos ya existentes mostrados en la tabla 3.

- Arquitectura del sistema.
- Red de comunicaciones.
- Controlador del sistema.
- Instrumentación.
- Actuadores.
- Estados de motores.

7.5.1 Selección de funciones. Para realizar la selección de las funciones nombradas anteriormente se utiliza el método de matrices de tamizaje, donde se comparan alternativas de solución para cada una de las funciones nombradas anteriormente con diferentes criterios de selección de funciones para así determinar cuál de las opciones da solución a la problemática planteada.

Arquitectura del sistema. A continuación se muestran las dos arquitecturas más utilizadas en el diseño de control industrial, existen algunas otras cuya topología se deriva básicamente de la combinación de estas mismas de acuerdo a los requerimientos del sistema.

Opción 1: control centralizado con IOs distribuidas.

Opción 2: control distribuido con IOs distribuidas.

Tabla 9. Matriz de tamizaje, arquitectura del sistema

		Opciones de funciones	
	Criterios de selección	1	2
1	Administración de datos	+	-
2	Tráfico de red	+	-
3	Optimización de materiales	+	-
4	Fácil montaje	+	-
5	Transferencia de datos	+	-
6	Costos de montaje	+	-
7	Optimización de espacios	+	-
8	Solución de fallas	-	+
9	Fácil expansión	-	+
	Positivo	7	2
	Negativo	2	7
	Total	5	-5
	Orden	1	2
	¿Continua?	S	N

El sistema que continua con el diseño es la opción 1 que es un sistema centralizado con IOs distribuidas.

- **Red de comunicaciones.** En la selección de la red de comunicación se debe tener en cuenta que debido a que se va a usar un sistema de control centralizado con IOs distribuidas se necesita diseñar una arquitectura de red, la cual debe ser determinística ya que se requiere un tiempo fijo en la comunicación entre el controlador y las entradas y salidas. Sabiendo esto se procede a seleccionar primero el protocolo con el que va a trabajar la red. Se plantean tres protocolos de comunicación determinísticos.

- **Protocolo.** Las opciones son las siguientes.

Opción 1: EtherNet/IP

Opción 2: Token Ring

Opción 3: FDDI

Tabla 10. Matriz de tamizaje, arquitectura de red

		Opciones de funciones		
	Criterios de selección	1	2	3
1	Velocidad de transmisión	+	+	+
2	Seguridad de red	+	-	+
3	Distancia de recepción	+	-	+
4	Fácil montaje	+	-	-
5	Adaptación al medio	+	-	+
6	Costos de montaje	+	-	-
7	Compatibilidad con los equipos	+	+	+
8	Cantidad de datos	+	+	+
9	Fácil mantenimiento	+	+	-
	Positivo	9	4	6
	Negativo	0	5	3
	Total	9	-1	3
	Orden	1	3	2
	¿Continua?	S	N	N

El protocolo con el cual va a trabajar la red de comunicación es EtherNet/IP ya que la opción 3 también cumple la mayoría de los requerimientos pero los costos de materiales y montaje son muy elevados en relación a la opción 1.

- **Topología.** Una vez seleccionado el protocolo que se va a usar sigue escoger la topología de la red de comunicación, teniendo en cuenta que el protocolo ganador fue EtherNet/IP, entonces se plantearon 3 opciones para evaluarlas y seleccionar la más adecuada.

Opción 1: Estrella

Opción 2: Anillo

Opción 3: Árbol

Tabla 11. Matriz de tamizaje, topología

		Opciones de funciones		
	Criterios de selección	1	2	3
1	Tráfico de datos	+	+	-
2	Fácil expansión	+	+	+
3	Detención de fallos	+	-	+
4	Fácil montaje	+	+	-
5	Adaptación al sistema	+	-	-
6	Costos de montaje	+	+	+
7	Flexibilidad a cambios	+	+	-
8	Configuración de red	+	+	-
9	Fácil mantenimiento	+	-	-
	Positivo	9	6	3
	Negativo	0	3	6
	Total	0	3	-3
	Orden	1	2	3
	¿Continúa?	S	N	N

La topología de red ganadora es la tipo estrella (opción 1).

- **Controlador del sistema.** En esta función que es una de las más críticas e importantes en todo el proceso de diseño se han planteado 2 alternativas para realizar el control del sistema general.

Opción 1: PLC

Opción 2: Microcontrolador

Opción 3: PC Industrial

Tabla 12. Matriz de tamizaje, controlador del sistema

		Opciones de funciones		
Criterios de selección		1	2	3
1	Permite múltiples E/S	+	-	-
2	Módulos de expansión	+	-	+
3	Alta capacidad de almacenamiento	+	+	+
4	Fácil montaje	+	+	+
5	Transferencia de datos	+	+	+
6	Costos de montaje	-	+	+
7	Fácil programación	+	+	+
8	Adaptación software de producción	+	-	-
9	Puertos de comunicación	+	+	+
	Positivo	8	6	7
	Negativo	1	3	2
	Total	7	3	5
	Orden	1	3	2
	¿Continúa?	S	N	N

El dispositivo encargado de realizar el control es el PLC que ganó en la matriz de tamizaje.

○ **Instrumentación.** En la selección de los equipos de instrumentación se tiene en cuenta que se realizar acondicionamiento de señal en diferentes procesos, se necesita seleccionar sensores de nivel (sólidos), de peso, de posición. Se realiza una matriz de tamizaje para seleccionar cada uno de los sensores para las diferentes variables.

○ **Sensor de nivel.** Los sensores de nivel son los encargados de llevar el monitoreo del llenado de cada una de las tolvas de la planta. Entonces se requiere poner un sensor en parte alta y otro en la parte baja de la tolva para así poder determinar cuando ésta se encuentra llena o vacía. Se usa dos tipos de sensores de nivel, uno para nivel alto y otro para bajo.

Opción 1: Sensor de vibración

Opción 2: Sensor capacitivo

Opción 3: Sensor mecánico motorizado

Tabla 13. Matriz de tamizaje sensor de nivel

		Opciones de funciones		
Criterios de selección		1	2	3
1	Detención a distintas densidades de productos	+	+	+
2	Trabaja en ambientes particulados	+	-	+
3	Duradero	+	+	-
4	Fácil montaje	+	+	-
5	Adaptación al medio	+	-	+
6	Costos de montaje	-	+	+
7	Detención de cualquier tipo de material	+	-	+
8	Rango de detención	+	+	-
9	Fácil mantenimiento	+	+	-
	Positivo	8	6	5
	Negativo	1	3	4
	Total	7	3	1
	Orden	1	2	3
	¿Continua?	S	S	N

En este caso se escogió dos opciones para continuar, el sensor de vibración y el capacitivo ya que en el nivel alto de la tolva se usará el primero y en parte baja será un sensor capacitivo, es se debe a que si se pone un sensor de vibración en la parte superior de la tolva se dañaría debido a que este debe ubicarse en una posición de 45° de sentido lo que haría que la carga lo destruya, es por este motivo que se hace uso del sensor capacitivo en la parte inferior de la tolva.

- **Sensor de peso.** Estos sensores son utilizados para la medición tanto de sólidos como líquidos en cada una de las básculas de la planta. Para medir el peso se buscaron 3 tipos de tecnologías que sirven para esto, las opciones se muestran y se seleccionan en la siguiente matriz de tamizaje.

Opción 1: Placa flexible

Opción 2: Cable piezoeléctrico

Opción 3: Celda de carga

Tabla 14. Matriz de tamizaje sensor de peso

		Opciones de funciones		
	Criterios de selección	1	2	3
1	Adaptación al sistema	+	+	+
2	Trabaja en ambientes particulados	+	+	+
3	Duradero	-	-	+
4	Fácil montaje	+	-	+
5	Adaptación al medio	+	+	+
6	Costos de montaje	+	+	-
7	Capacidad de carga	+	-	+
8	Rango de detención	+	+	+
9	Fácil mantenimiento	-	+	+
	Positivo	7	6	8
	Negativo	2	3	1
	Total	4	3	7
	Orden	2	3	1
	¿Continúa?	N	N	S

El sensado de peso de la materia prima se va a realizar por medio de celdas de carga al centro (opción 3).

- **Sensor de posición.** Son utilizados para determinar la posición de los diverter, raceras, cajas de cambios, triverter y distribuidores.

Opción 1: Micro-switches

Opción 2: Sensor capacitivo

Opción 3: Sensor inductivo

Tabla 15. Matriz de tamizaje sensor de posición

		Opciones de funciones		
	Criterios de selección	1	2	3
1	Adaptación al sistema	+	+	+
2	Trabaja en ambientes particulados	-	-	+
3	Duradero	-	+	+
4	Fácil montaje	+	+	+
5	Adaptación al medio	+	+	+
6	Costos de montaje	+	-	-
7	Detención de material ferroso	+	-	+
8	Rango de detención	-	+	+
9	Fácil mantenimiento	-	+	+
	Positivo	5	6	8
	Negativo	4	3	1
	Total	1	3	7
	Orden	3	2	1
	¿Continua?	N	N	S

La variable posición de algunos equipos se medirá con sensores inductivos.

- **Actuadores.** Para el caso de la selección de actuadores se evita hacer matriz de tamizaje ya que como se mencionó en la tabla 3 la planta cuenta con unos equipos ya existentes y el proyecto debe delimitarse a ellos. Los equipos que son considerados como actuadores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16. Actuadores ya existentes en la planta

Actuadores		
1	Equipos	Tipo
2	Motores eléctrico	AC
3	Pistones	Vástago
4	Válvulas	Eléctricas

- **Estados de motores.** En el caso de determinar el estado de cada uno de los motores de la planta se mencionan 3 opciones posibles.

Opción 1: transformadores de corriente

Opción 2: switches de corriente

Opción 3: contactos de bloques auxiliares

Tabla 17. Matriz de tamizaje, estados de motores

		Opciones de funciones		
Criterios de selección		1	2	3
1	Costos de materiales	+	+	+
2	Trabaja en ambientes particulados	+	-	+
3	Complejidad	-	+	+
4	Fácil montaje	-	-	+
5	Costos de montaje	-	+	+
6	Fácil mantenimiento	-	-	+
	Positivo	2	3	5
	Negativo	4	3	4
	Total	-2	0	1
	Orden	3	2	1
	¿Continua?	N	N	S

La opción 3 es la que va a continuar con el diseño, es decir los contactos de bloques auxiliares del PLC.

7.6.2 Definición de concepto final. Para realizar la definición del concepto final se realiza una última matriz de tamizaje donde se generan 3 conceptos como alternativas, cada uno sale de la combinación de las opciones que se planteaban para cada función.

- **Concepto 1:** diseño de automatización basado en un control a través de un PLC centralizado con IOs distribuidas, cuya red de comunicación usa un protocolo EtherNet/IP con un topología estrella. Los actuadores son los que se mencionan en la tabla 17 y se manejan sensores de vibración para niveles altos y capacitivos para niveles bajos, en cuando a la detención de posición se realiza mediante

sensores inductivos, la medición de peso se realiza a través de celdas de carga tanto para sólidos como líquidos.

○ **Concepto 2:** diseño de automatización basado en un control a través de un PC industrial centralizado con IOs distribuidas, cuya red de comunicación usa un protocolo Token Ring con una topología anillo. Los actuadores son los que se mencionan en la tabla 17 y se manejan sensores capacitivos para niveles altos e inductivos para niveles bajos, en cuando a la detención de posición se realiza a través de micro-switches, la medición de peso se realiza mediante placas flexibles tanto para sólidos como líquidos.

○ **Concepto 3:** diseño de automatización basado en un control a través de un PLC centralizado con IOs distribuidas, cuya red de comunicación usa un protocolo FDDI con una topología anillo. Los actuadores son los que se mencionan en la tabla 17 y se manejan sensores de vibración para niveles altos e inductivos para niveles bajos, en cuando a la detención de posición se realiza a través de sensores inductivos, la medición de peso se realiza mediante cable piezoeléctrico tanto para sólidos como líquidos.

Tabla 18. Matriz de tamizaje combinación de conceptos

		Opciones de funciones		
Criterios de selección		1	2	3
1	Costos de materiales	+	-	+
2	Trabaja en ambientes particulados	+	+	+
3	Duradero	+	-	-
4	Fácil montaje	+	+	+
5	Correcto funcionamiento	+	-	+
6	Costos de montaje	+	+	+
7	Adaptación a la infraestructura	+	+	-
8	Velocidad de información	+	-	-
9	Fácil mantenimiento	+	+	+
Positivo		9	5	6
Negativo		0	4	3
Total		9	1	3
Orden		1	3	2
¿Continúa?		S	N	N

De acuerdo con los resultados de las matrices de tamizaje generadas anteriormente, la infraestructura y los equipos ya existentes en la planta se genera el siguiente concepto:

El diseño de automatización de los sistemas de dosificación, molienda y gestión de materias primas de la planta de Alimentos Concentrados está basado en una arquitectura de sistema centralizado con entradas y salidas distribuidas, con una red de comunicación tipo determinística con es el protocolo EtherNet/IP con una topología estrella.

El dispositivo encargado de realizar el control del sistema es un PLC debido a que cuenta con múltiples entradas/salidas y cumple con todos los requerimientos necesarios, en cuanto al sensado de las diferentes variables de los procesos como son nivel, peso, posición se usan sensores de vibraciones (nivel alto) y capacitivos (nivel bajo), celdas de carga al centro e inductivos respectivamente para cada variable. Los actuadores que usa el diseño son los nombrados en la tabla 17 y por último para determinar el estado de los motores se hace por medio de los contactos de los bloques auxiliares del PLC.

8. DISEÑO DETALLADO

En este capítulo se presenta el sistema detallado de la solución planteada en la definición del concepto anterior.

Como se mencionó que será un PLC el encargado de realizar el control total del sistema, entonces hay que determinar qué tipo de PLC se va usar teniendo en cuenta los requerimientos y la cantidad de IOs de los equipos mostradas en la tabla 5.

8.1 CONTROLADOR

8.1.1 Marca PLC. Se definió por la compañía ya que ésta trabaja con los equipos de Allen-Bradley desde hace mucho tiempo, es decir que tiene experiencia con el uso de este fabricante, además de que existe un representante de la marca en el país. Algunas de las características importantes de esta marca son:

8.1.2 Familia PLC. Lo que sigue es definir la familia del PLC, para esto se tuvo en cuenta la cantidad de IOs necesarias que garanticen el correcto funcionamiento de las líneas de producción y también los criterios de selección del controlador de la tabla 13. A continuación se realiza una comparación de las familias que Allen-Bradley dispone en el mercado.

Tabla 19. Comparación familias de PLCs Allen-Bradley

ALLEN-BRADLEY			
Tipo	Referencia	Descripción	Capacidad IOS (módulos expansión)
ControlLogix	5580	Control distribuido o de supervisión	132000
CompactLogix	1769- L33ER	Automatización compleja de control de máquinas	960
MicroLogix	1500	Lógica de control simple	512
Pico	GFX-70	Lógica simple, sincronización, conteo y operaciones de reloj	36

Como se calculó en la tabla 5, el número total de entradas y salidas que requiere el sistema es de 599, por lo tanto de la tabla 20 se puede descartar 3 de las familias, la Pico y la MicroLogix no cumplen con el requisito y la ControlLogix ya es para un sistema de altas prestaciones que satisfagan necesidades de aplicaciones más exigentes ya que tiene la capacidad de hasta 132000 puntos de IOs entre digitales y análogas y muchas otras especificaciones que serían un desperdicio para este caso. Por lo tanto la familia con la cual se va a realizar el proyecto es la CompactLogix de la marca Allen-Bradley, la tabla 21 muestra las características específicas del PLC.

- **Controlador de automatización programable CompactLogix.** CompactLogix es un sistema de control económico respecto a las demás familias de la marca y con relación al tipo de aplicación en el que se usa, es escalable para aplicaciones pequeñas de máquinas autónomas y para aplicaciones de tamaño mediano conectadas al sistema. Los controladores CompactLogix utilizan un motor de control común con un ambiente de desarrollo común para controlar las aplicaciones medianas en un ambiente fácil de utilizar. La integración cerrada entre el software de programación, el controlador y los módulos IOs reduce el tiempo de desarrollo y el costo al momento de la puesta en funcionamiento y durante el funcionamiento normal. Esta comunidad proporciona una integración rentable de una máquina o aplicación de seguridad dentro de un sistema de control en todas las instalaciones porque integra capacidades de seguridad, movimiento, discreto y transmisión en un solo controlador. El factor de forma compacto y diseño sin rack son compatibles con una amplia gama de productos compactos de E/S.

Tabla 20. Especificaciones técnicas del PLC 1769-L33ER

COMPACT 1769-L33ER	
Especificaciones técnicas	
Temperatura operación	0-60 °C
Humedad relativa	5-95%
Puertos Comunicación	2 puertos de EtherNet/IP 1 puerto USB
Lenguaje programación	LADDER, texto estructurado, bloque de funciones, SFC

Tabla 21. (Continuación)

Memoria usuario	2MB
Módulos expansión local	16
Software	RSLogix 5000 V20 RSLinx Classic V2.59

La plataforma de ControlLogix aumenta la productividad y a su vez reduce el costo total de propiedad.

A diferencia de las arquitectura convencionales, la plataforma de ControlLogix ofrece soluciones escalables, completamente integradas para el rango completo de disciplinas de automatización, que incluye sistemas discretos, de movimiento, de control de proceso, de lote, de transmisión y de seguridad que utilizan una sola plataforma de control, un solo ambiente de desarrollo y un solo protocolo abierto de comunicación. La plataforma le permite volver a utilizar los diseños y las prácticas de ingeniería para reducir el costo y el tiempo de desarrollo, responder de forma más rápida a las demandas del cliente o del mercado, reducir los costos de mantenimiento y el tiempo de improductividad y tener fácil acceso a la información de planta accionable y de producción para una mejor administración y toma de decisiones.

8.1.3 Módulos de IOs distribuidas. Una vez se escoge la marca del PLC, la familia y referencia falta algo importante y es el tipo de módulos de IOs distribuidos para poder determinar la cantidad de gabinetes que la planta necesita y cuál sería la mejor ubicación de cada uno de ellos dependiendo la infraestructura de la planta.

Las IOs distribuidas en gabinete pueden colocarse en toda la aplicación y necesitan un envolvente. Las IOs modulares en gabinete permiten seleccionar la mezcla exacta de interfaces de IOs y adaptadores de comunicación para satisfacer las necesidades que requiere la planta, ofreciendo mayor flexibilidad en el diseño del sistema. Además de una amplia variedad de módulos analógicos, digitales y especiales, también existen módulos de IOs en gabinete para ambientes extremos. En la familia ControlLogix existen 3 tipos para IOs distribuidas.

- **Point IO**, características
 - Aplicaciones de flexibilidad y bajo costo.
 - Fácil instalación debido a su diseño compacto.
 - Dispone de IOs de seguridad nominal.
 - Redes ControlNet, DeviceNet, EtherNet/IP, otras.
 - Los componentes se deslizan fácilmente para lograr un fácil mantenimiento.
 - El sistema es de cableado extraíble.
 - Montaje horizontal y vertical.
 - Facilidad para agregar IOs.

Ilustración 14. Módulos IOs referencia Point IO



Fuente: Módulos Point IO [en línea]. Rockwell Automation, 2017 [Consultado 07 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <http://ab.rockwellautomation.com/es/IO/1734-POINT-IO-Modules>

- **Flex IO**, características
 - Funcionalidad de IOs grandes basados en rack sin los requisitos de espacio.
 - Ofrece rentabilidad, flexibilidad, modularidad y confiabilidad.

- El diseño modular permite seleccionar IOs e interfaces de forma independiente.
- Redes de EtherNet/IP, ControlNet, DeviceNet, IOs remotas universales, otras redes.
- Módulos de IOs distribuidas para ambientes extremos.
- Fácil instalación debido a que el sistema se ensambla sin necesidad de herramienta.
- Montaje horizontal o vertical en un riel DIN estándar.
- Cumplen con las normas ANDI/ISA2, IEC, EMC.

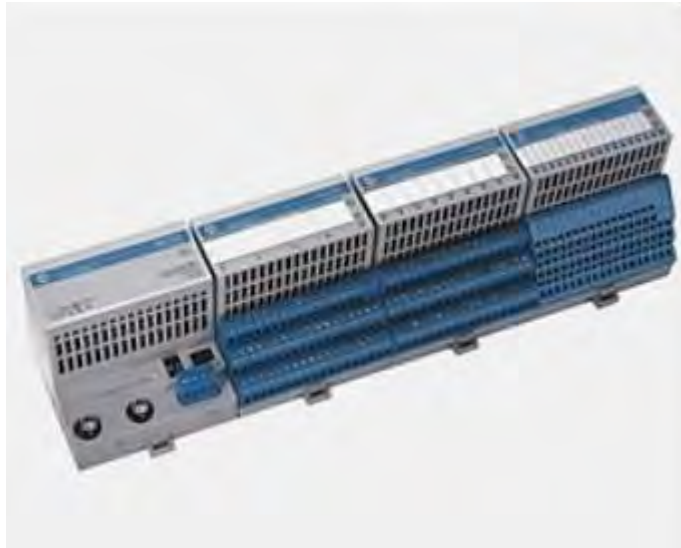
Ilustración 15. Módulos IOs referencia Flex IO



Fuente: Módulos Point IO [en línea]. Rockwell Automation, 2017 [Consultado 07 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <http://ab.rockwellautomation.com/es/IO/In-Cabinet-Modular/1797-FLEX-Ex-IO-Modules>

- **Flex Ex IO**, características
- Instalación en áreas peligrosas.
- El diseño modular permite seleccionar IOs e interfaces de forma independiente.
- Fácil instalación debido a que el sistema se ensambla sin necesidad de herramienta.
- Montaje horizontal o vertical en un riel DIN estándar.

Ilustración 16. Módulos IOs referencia Flex Ex IO



Fuente: Módulos Point IO [en línea]. Rockwell Automation, 2017 [Consultado 07 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <http://ab.rockwellautomation.com/es/IO/In-Cabinet-Modular/1797-FLEX-Ex-IO-Modules>

En la selección del tipo de módulo de IOs distribuidas se tiene en cuenta que la opción 1 tiene una composición física tipo compacta lo que dificulta la conexión de cableado, ya que como se observa la tabla # son muchas las entradas y salidas para el sistema completo, por lo tanto se necesita que los módulos se puedan instalar de forma vertical y horizontal en un riel DIN estándar, facilitando así el montaje de instalación y aprovechamiento de espacios en la planta. La opción 3 es básicamente la misma opción 2 pero con la diferencia que usa una tecnología IS, la cual permite tener módulos de IOs en áreas peligrosas con un solo cable coaxial o de fibra redundante que prácticamente elimina las barreras y aislantes autónomos, envolventes, largas extensiones de cableado y los soportes de cable, estas características además se ven evidenciados en el costo de los módulos ya que es el más costoso de las 3 opciones y puesto que el ambiente donde van a trabajar los equipos no es peligroso se opta por seleccionar los módulos de IOs distribuidas Flex IO ya que cumple con todos los requerimientos de diseño, principalmente que para realizar la conectividad de red tiene EtherNet/IP.

Para finalizar la selección de módulos IOs falta especificar la cantidad y la ubicación de los mismos. Para esto se tiene en cuenta principalmente el anexo E,

que muestra el diagrama de proceso completo de la planta para observar la ubicación de cada uno de los equipos.

Lo primero y determinante es saber que la planta tiene dos líneas (acuícola, pecuaria) totalmente independientes, tanto en sus equipos como en sus procesos, por lo tanto ya son necesarios 2 puntos de módulos IOs, el otro criterio importante es la infraestructura de la planta, son dos partes estructuralmente hablando, en la parte superior se encuentran ubicadas todas las tolvas y en la parte inferior están los demás equipos como básculas, molinos, peletizadoras, extruder, etc., entonces se requiere tener un punto de IOs en la parte de arriba y otro abajo por cada línea de producción. Para resumir lo anterior se tendrían 4 puntos de módulos IOs, dos para la línea acuícola y los demás para la pecuaria, faltaría uno que va en el mismo cuarto donde se encuentra el CCM facilitando de esta manera la optimización de materiales y espacios, es decir que en total serán 5 los tableros con los módulos de IOs distribuidas.

8.2 RED DE COMUNICACIÓN

Como ya se había mencionado en la sección 8.6.1 en la selección de conceptos, la red de comunicación del sistema va a usar un protocolo EtherNet/IP con una topología estrella, ahora se muestran características importantes de este protocolo.

- Portabilidad a través de diferentes enlaces de datos (Ethernet y WiFi) y enrutamiento IP en la infraestructura de red de todas las instalaciones y WAN.
- La conexión en puente y el enrutamiento no requieren activos como proxies o dispositivos de almacenar y enviar.
- La implementación flexible y segura del sistema permite que TI y los fabricantes colaboren fácilmente para implementar y mantener la seguridad, fiabilidad y calidad de servicio en toda la empresa.
- La arquitectura de red escalable y preparada para el futuro que utiliza estándares abiertos le permite implementar rápida y eficientemente las tecnologías y capacidades nuevas.
- Diseño probado y validado y guía de implementación, como también las mejores prácticas para una arquitectura convergente industrial de red de IT.

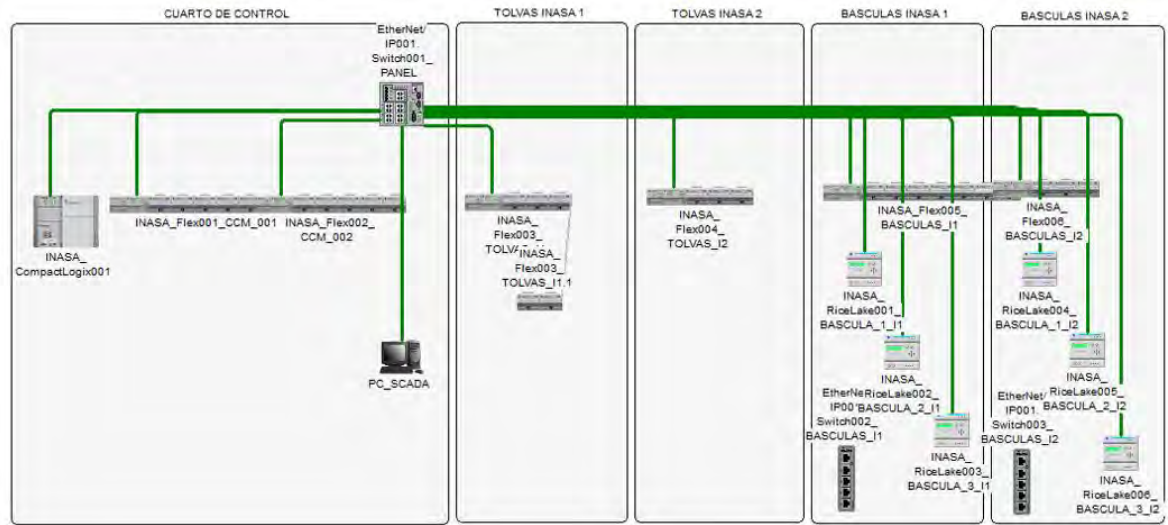
- **Integración con la empresa**

- Se integra fácilmente a las instalaciones existentes de Ethernet y TCP/IP sin requisitos especiales, productos, ni condiciones para cumplir.
- Utiliza productos comerciales como interruptores, enrutadores y firewalls Ethernet, cámaras y telefonía IP como también tecnologías como portadores inalámbricos y eléctricos.
- Las herramientas comunes para las redes industriales y comerciales no requieren capacitación, herramientas ni conocimiento especial para mejorar la fuerza de trabajo de IT.
- Realiza pruebas a futuro en sus aplicaciones y redes mejorando los avances en curso de la red estándar Ethernet y TCP/IP.

8.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En los anteriores ítems se determinó que el controlador de todo el sistema de la planta de Alimentos Concentrados será un PLC de la marca Allen-Bradley de la familia CompactLogix referencia 1769-L33ER usando módulos de IOs distribuidas en 5 puntos estratégicos, todo el sistema es centralizado con IOs distribuidas que se comunica a través del protocolo EtherNet/IP con topología estrella así como muestra la siguiente ilustración.

Ilustración 17. Diseño de la arquitectura del sistema



En la figura anterior se observa el diseño de automatización del sistema centralizado con IOs distribuidas, en el cuarto de control se encuentra el PLC Allen-Bradley de la familia CompactLogix 1769-L33ER con los módulos de IOs tipo Flex IO de las líneas acuícola y pecuaria, también dispone de un PC para la adquisición de datos, control, supervisión y realizar los reportes del proceso, otro componente ubicado en el cuarto de control es el Switch encargado de relación la conexión con los demás gabinetes puesto que es topología estrella.

El segundo gabinete de izquierda a derecha está ubicado en la parte superior de la planta acuícola, donde se encuentran un módulo de IOs distribuidas Flex IO. El tercer tablero también está en la parte superior pero este es de la línea pecuaria con su respectivo módulo de IOs.

El cuarto y quinto tablero se encuentran en la parte inferior de la planta que corresponde a las líneas acuícola y pecuaria respectivamente, cada uno dispone de 3 básculas que son las encargadas de la dosificación de materias primas sólidas y líquidas, además de los módulos de IOs también hay Switches de comunicación de red para las básculas.

8.4 SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN DE MÍMICOS

Para escoger el software encargado de mostrar el funcionamiento de los equipos de la planta se tuvo como prioridad seguir trabajando con la misma marca del PLC que este caso es Allen-Bradley, ellos tiene un software HMI llamado FACTORYTALK VIEW Site Edition (SE), el cual la empresa ya tiene experiencia con el uso de este programa, lo que facilita el uso del mismo.

FactoryTalk View SE es un software HMI de supervisión para el control de las aplicaciones de servidor distribuido y supervisión multiusuario. Proporciona una imagen precisa y completa de las operaciones.

8.4.1 Características

- Definir etiquetas, objetos gráficos y pantallas de una vez y hacer referencia a ellos a través de un sistema distribuido.
- Compartir datos e integrar perfectamente con otros productos habilitados para FactoryTalk.
- La plataforma de servicios FactoryTalk ofrece servicios comunes tales como la seguridad, alarmas y diagnósticos a través de productos.
- Maximizar la productividad accediendo directamente a información de la etiqueta en el controlador, lo que elimina la necesidad de crear variables HMI.
- Varios usuarios pueden gestionar simultáneamente la aplicación desde cualquier lugar de la red y fácilmente hacer cambios online en un sistema que ejecuta sin detener la aplicación HMI.
- Arquitectura escalable desde una sola estación de operador al sistema multi-servidor.
- Maximizar la disponibilidad del sistema con redundancia de software integrado para la detección de fallos y la conmutación automática sin perder la conectividad de clientes.
- Script del lado del cliente para ampliar las aplicaciones para sus necesidades específicas.
- Una función de biblioteca de más de 5000 símbolos gráficos prediseñados.

8.4.2 Beneficios

○ **Mejorar la eficacia del operador**

- Facilidad para entender las pantallas de visualización ayudando al operador a evaluar rápidamente la situación y navegar por el sistema.
- Ver e interactuar con las condiciones de alarma en toda la arquitectura integrada.
- Facilidad de uso de las gráficas de alarmas.
- Informe de diagnóstico, ruta, almacenar información acerca de los eventos que ocurrieron en un sistema y proporcionan una solución de ancho de diagnóstico para determinar la causa raíz de un problema en todo el sistema
- HMI Móvil proporciona una visibilidad continua del sistema en cualquier momento y en cualquier lugar.

○ **Eficacia de tiempo en el diseño**

- Definir etiquetas de una vez en el controlador Logix, para luego acceder a ellos a través del sistema.
- Acceso rápido y fiable a los datos en la familia de controladores Logix.
- El entorno de desarrollo común proporciona un marco de aplicación para la gestión a nivel de máquina hasta aplicaciones distribuidas.
- Reducir el esfuerzo de mantenimiento general y la probabilidad de introducir errores con objetos globales, las plantillas prediseñadas y servidores HMI.

○ **Soluciones escalables HMI**

- Escala de la estación única a los sistemas multi-servidor.
- Ampliar las capacidades del sistema mediante la integración y el intercambio de datos con otros productos de Rockwell Software.

- **Marco de seguridad estricta**

- El acceso restringido a los activos del sistema de control y capacidad para cumplir con los requisitos de seguridad más estrictas, tales como la FDA 21 CFR Parte 11.
- Los usuarios comunes y la configuración de seguridad a lo largo de todos los productos a base de FactoryTalk

- **La comunicación optimizada**

- Comunicaciones optimizadas con la familia de controladores Logix
- Opciones de conectividad fácil para los no-Logix y controladores de tercera parte.

- **Virtualización**

- Todos los componentes del sistema FactoryTalk View SE tienen VMware Ready Status.
- FactoryTalk View SE tiene preinstaladas plantillas de fácil configuración

- **Movilidad**

- Los usuarios tienen habilitado internet para la visualización en tiempo real.

8.5 SOFTWARE DE FORMULACIÓN Y REPORTE

Sobre el software de formulación y reportes no existe ningún software comercial que se ajuste exactamente a la planta, por lo que se necesita realizar uno a la medida con las siguientes características:

- **Lista de Materiales:** listado de materiales almacenados en tolvas de los ingredientes utilizados en la formulación.

- **Formulación:** almacenamiento de fórmulas con su respectiva identificación ya sean códigos, ordenes de producción o consecutivos que permitan conocer la trazabilidad de la formula.

- **Bache a Bache:** la línea acuícola y pecuaria trabajan de forma continua de tal forma que no dependan entre ellas, su forma de producción es por bache el cual depende del total de la formula ya establecida por el nutricionista.

- **Pesado de los materiales:** los materiales deben ser pesados uno a uno, eso quiere decir que no pueden estar pesando dos materiales distintos al mismo tiempo, ya que esto ocasionaría un error en el pesaje de los materiales causando un cambio de fórmula de la que se tiene predestinada. Sólo se puede pesar dos materiales distintos al mismo tiempo sólo si se encuentran pesando en distintas básculas.

- **Cambio de velocidad en la matriz de tolvas:** capacidad del cambio de velocidad de los sistemas de dosificación, contando con velocidades altas y bajas, reguladas con alimentaciones fina y gruesa que se ajusten dependiendo de las propiedades del producto que será pesado.

- **Sobre-pesos:** en línea bache a bache presente una compensación de auto calibración que corrija el off-set del alimentador para mejorar el correcto funcionamiento del equipo.

- **Inventario:** capacidad de llevar los inventarios de los insumos de almacenamiento de las materias primas, el cual realice un corte de la materia prima en consumo y permita la predicción de la fórmula que será procesada.

- **Informes:** reporta en línea estado de operación, tiempos perdidos, productibilidad, estado de la materia prima, dosificado versus el ensaque, tiempos de dosificación y pesos reales dosificados.

➤ **Restricciones:** el sistema operativo debe evitar las contaminaciones cruzadas que se puedan generar en el producto. Para lograr que se cumplan se ejecutan restricciones de productos que no cumplan para que se lleven a cabo se obliga a realizar limpiezas en los sistemas para la aceptación de la formula.

➤ **Alarmas:** sistemas de aviso o alarmas que permitan al operario conocer operaciones que no están contempladas en el sistema tales como:

- Alimentación lenta en algún ingrediente.
- Ingrediente en corte.
- Sobrepeso.
- Falta de ingreso de fórmula.

➤ **Adicción de manuales:** descargar en el tiempo provisto los micro-materiales para cumplir con todos los ingredientes formulados.

➤ **Tiempos de mezcla:** la mezcla de los ingredientes cuenta con un ciclo que corresponde a:

- Tiempo de mezcla seca.
- Descarga de manuales.
- Descarga de líquidos.
- Tiempo de mezcla húmeda.
- Descarga de mezcladora.

➤ Interfaz de proceso debe ser lo más clara posible donde se especifique cada uno de las operaciones.

8.6 SENSORES Y ACTUADORES

En el anterior capítulo se seleccionó las tecnologías con las cuales se va a realizar el sensado de las variables de nivel, peso y posición en los procesos de la planta, en cuanto a los actuadores como se mostró en la tabla 17 se va a trabajar con los equipos ya existentes en la empresa.

Los sensores que se seleccionaron tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Precio: comparando entre diferentes marcas se logra obtener un ahorro del 2%.
- Experiencia de uso: la firma de ingeniería a la cual se le realizó el proyecto lleva trabajando mucho tiempo con estos sensores, lo cual genera confianza en su desempeño.
- Montaje: este tipo de sensores permiten una versatilidad a la hora de la puesta en marcha, esto permite disminución en el cronograma de tiempo de montaje.
- Aplicación: se adapta muy fácil al controlador utilizado.
- Durabilidad: trabaja en ambientes particulados sin disminuir su eficiencia de trabajo.

8.6.1 Sensores

- **Sensor de nivel alto:** sensor de vibración

Para realizar el sensado de nivel en la parte alta de las tolvas se usa el sensor marca Sick modelo LBV320-XXTNDRANX01400, P/N6038377 que tiene las siguientes especificaciones técnicas.

Tabla 21. Especificaciones técnicas del sensor de vibración

DATOS TÉCNICOS	
Referencia	LBV320-XXTNDRANX01400
Principio de medición	Interruptor de fin de carrera por vibración
Principio de detección	En contacto
Medio	Material a granel
Medición	Límites
Rango de temperatura	-50 °C ... +250 °C
Rango de presión	-1 bar ... 25 bar
Salida de señal	Conmutador sin contacto Señal Namur Relé doble (DPDT) 1 x PNP/NPN
Exactitud del elemento de medición	± 10 mm

Ilustración 18. Visualización de un sensor de vibración marca SICK



Fuente: LBV300 [en línea]. SICK Sensor Intelligence, 2017 [Consultado 17 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <https://www.sick.com/mx/es/product-portfolio/fluid-sensors/level-sensors/lbv300/c/q150096>

- **Sensor de nivel bajo:** sensor capacitivo

Para determinar el nivel en la parte baja de las tolvas se hará por medio de sensores capacitivos de proximidad, marca Sick, modelo CM30-25NPP-EC1, P/N 6058157. La tabla 23 muestra las características técnicas.

Tabla 22. Especificaciones técnicas del sensor capacitivo

DATOS TÉCNICOS	
Referencia	CM30-25NPP-EC1
Rango sensibilidad nominal	16 ... 25 mm
Versión eléctrica	DC, 4 cables
Grado de protección	IP 68, IP 69K
Rango de temperatura	-30 °C ... +85 °C
Material	PBT (30% fibra de vidrio reforzado)
Frecuencia de conmutación	50 Hz
Características especiales	Salida programable Función (NO/NC). Optimización de polvo y compensación de humedad. Detención activa amayor distancia.

Ilustración 19. Visualización de un sensor capacitivo marca SICK



Fuente: Sensores de proximidad capacitivos CM [en línea]. SICK Sensor Intelligence, 2017 [Consultado 17 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <https://www.sick.com/mx/es/sensores-de-proximidad/sensores-de-proximidad-capacitivos/cm/cm30-16bpp-kc1/p/p244841>

○ **Sensor de peso:** Celdas de carga

En el pesaje de materias prima se va a usar los módulos de pesaje de celda de carga con EtherNet/IP, marca RiceLake, modelo SCT20-IP. Estas son algunas de las características de estos módulos:

- Ahorro de espacio, forma vertical con montaje en carril DIN.
- Muestra condiciones de peso, configuración, calibración y de error.
- Calibración teórica, pesan real de calibración, calibración de linealidad.
- Pulsador o tara predeterminada.
- Convierte de peso digital a la salida analógica o al protocolo opcional DeviceNet, Profibus o EtherNet/IP.
- Soporta los protocolos ASCII o MODBUS-RTU.
- Salida analógica a gran escala con la puesta a cero y corrección de la señal analógica del PLC.
- Dos entradas digitales, tres salidas digitales.
- Un puerto serie RS-232 y RS-simplex 485.

Ilustración 20. Visualización del módulo para las celdas de carga



Fuente: Indicadores de peso [en línea]. RICE LAKE Weighing System, 2017 [Consultado 19 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <https://www.ricelake.com/es-mx/productos/instrumentaci%C3%B3n/indicadores-controladores/indicadores-peso>

- **Sensor de posición:** sensor inductivo

El sensor inductivo de proximidad que se va a utilizar es marca Sick, modelo IME30-15BPSZC0S, P/N 1041030.

Tabla 23. Especificaciones técnicas del sensor inductivo

DATOS TÉCNICOS	
Referencia	IME30-15BPSZC0S
Tensión de alimentación	10 ... 30 VDC
Tamaño de rosca	M30 x 1,5
Diámetro	Ø 30 mm
Alcance de detención	15 mm
Distancia de detención asegurada	12,15 mm
Frecuencia de conmutación	500 Hz
Tipo de conexión	Conector macho M12 de 4 polos
Salida de aviso	PNP
Función de salida	Normalmente abierto
Grado de protección	IP 67

Ilustración 21. Visualización de un sensor inductivo marca SICK



Fuente: Sensores de proximidad inductivos [en línea]. SICK Sensor Intelligence, 2017 [Consultado 17 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <https://www.sick.com/mx/es/product-portfolio/proximity-sensors/inductive-proximity-sensors/c/g190731>

8.6.2 Actuadores. Los actuadores con los cuales va a trabajar la planta son los que se mencionan en la tabla 17, a continuación se muestra en la tabla 25 los requerimientos de los actuadores.

Tabla 24. Requerimientos técnicos de los actuadores

REQUERIMIENTO DE ACTUADORES				
Control	TIPO	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICA	ELEMENTO FINAL DE CONTROL
Electroválvula de vías	Cilindro	Desplazamiento	Diámetro de vástago de 34 mm	Diverter
			fuerza de 5380 N	Triverter
			Carrera de 2000 mm	Compuertas
	Válvulas	Permitir Paso	Activación Por señal eléctrica de 110V	
			Permita el Paso de líquidos a temperaturas hasta 90 °C	Dosificación de líquidos a básculas de tanques
Contactor	Motor	Rotación	Conexión en 220-440Vac	Transportadores

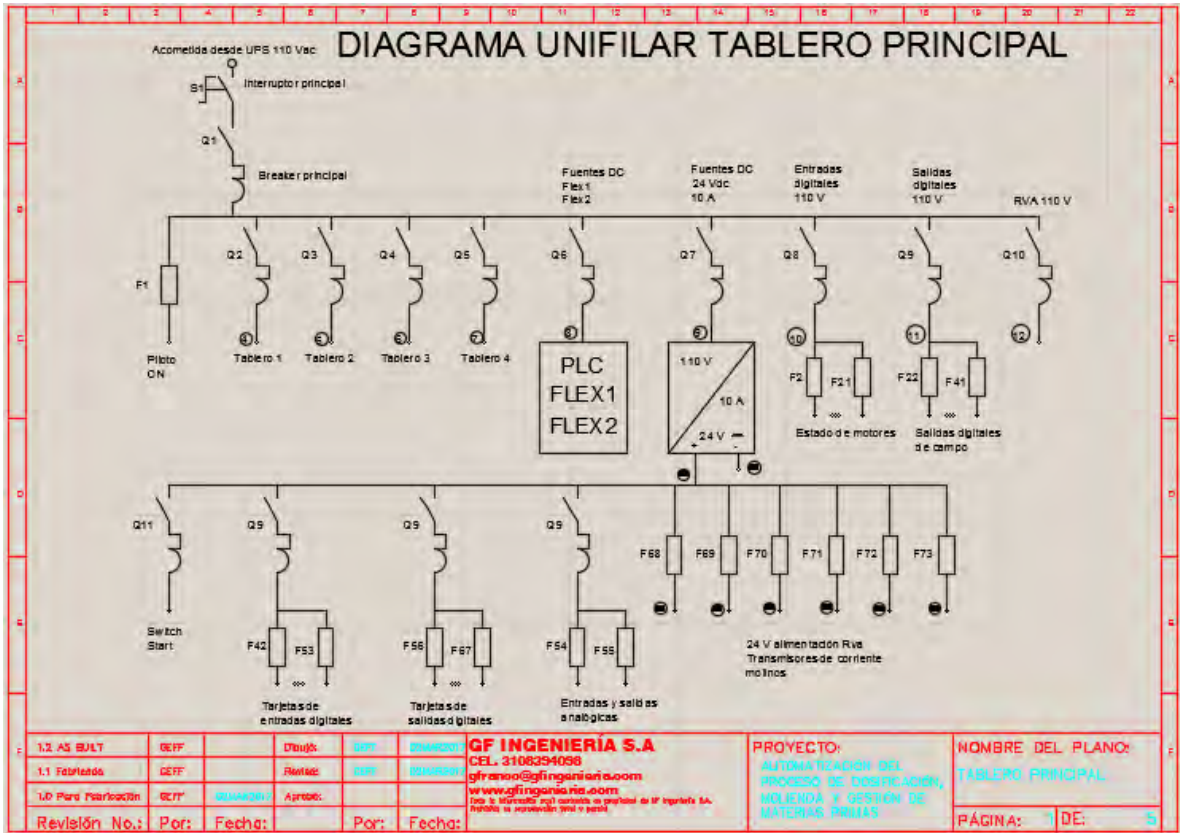
Tabla 25. (Continuación)

			Potencia de 2-200Hp	Elevadores
Variador			IP 56	Molinos de martillos
			IE3	Ventiladores
Arrancador suave			Velocidad angular de 1750 rpm	Limpiadoras de harinas
				Distribuidores

8.6 ESQUEMA ELÉCTRICOS DEL DISEÑO

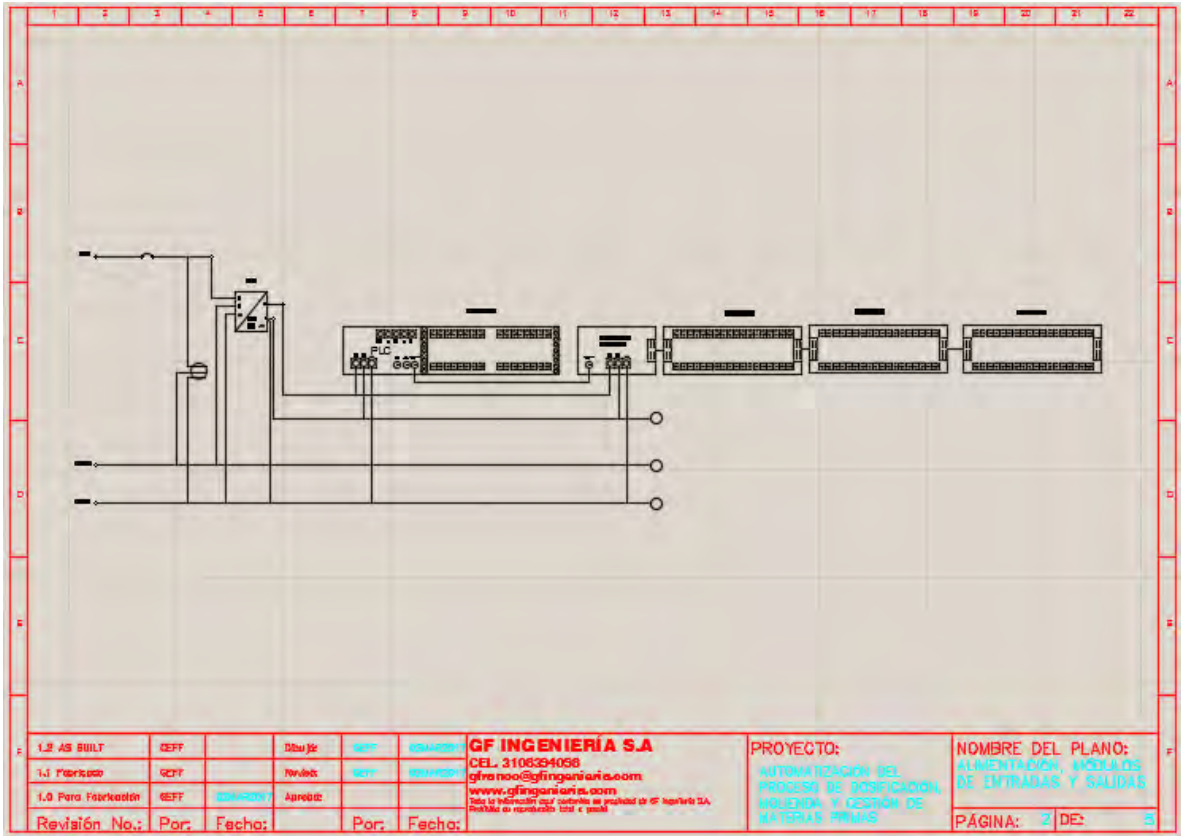
A continuación se muestran 5 planos eléctricos que corresponden al diseño planteado en esta sección, con los cuales se logra visualizar las conexiones de los elementos tanto eléctricos como electrónicos del diseño planteado. Como se muestra en la tabla 4 son 315 equipos con los que cuenta la planta y en la tabla 6 se determinan que son más de 600 entradas y salidas del sistema entonces se realiza únicamente un ejemplo de cómo sería la conexión para 3 equipos, dos transportadores y un elevador, ya que para los demás equipos serían conexiones iguales o muy parecidas.

Ilustración 22. Diagrama unifilar del tablero principal.



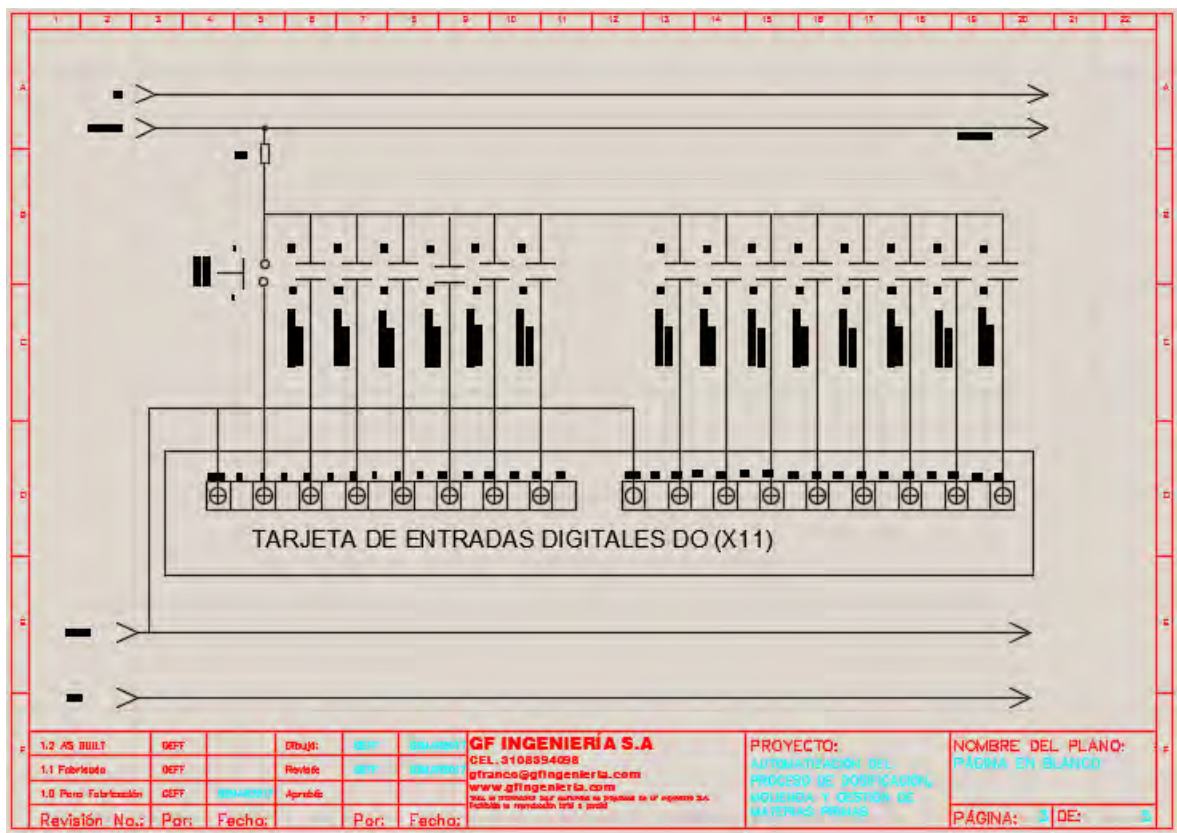
En la ilustración 22 muestra la conexión unifilar del tablero principal del sistema, en este se muestran las conexiones eléctricas con sus respectivos elementos de protección como son breaker magnéticos, térmicos, fusibles, además que se muestra la conexión general del PLC con los módulos de expansión y una fuente de alimentación a 24 Vdc de 10 amperios.

Ilustración 23. Diagrama de conexión de la fuente, PLC y módulos de expansión de entradas y salidas



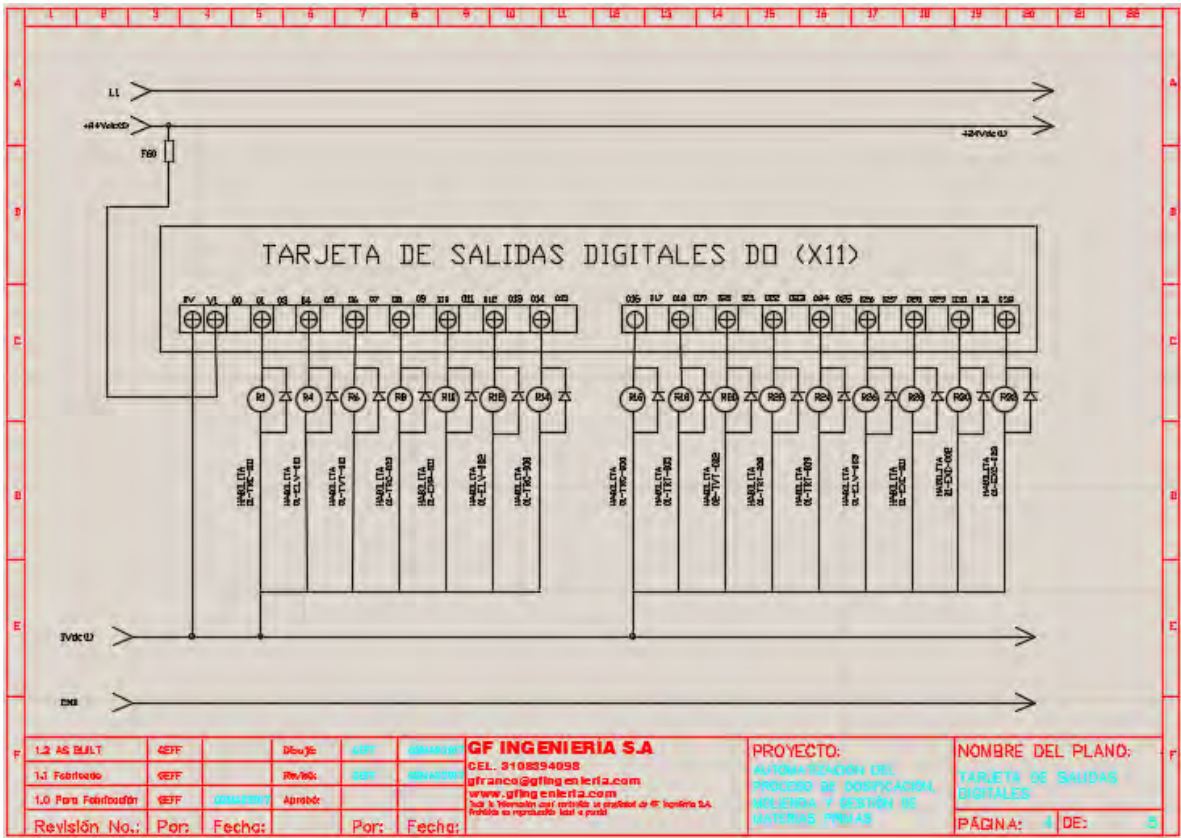
En la ilustración 23 se muestra la conexión eléctrica de la fuente de alimentación de 24 Vdc al PLC y a cada uno de los módulos de entradas y salidas del sistema.

Ilustración 24. Diagrama de conexión de las tarjetas de entradas digitales



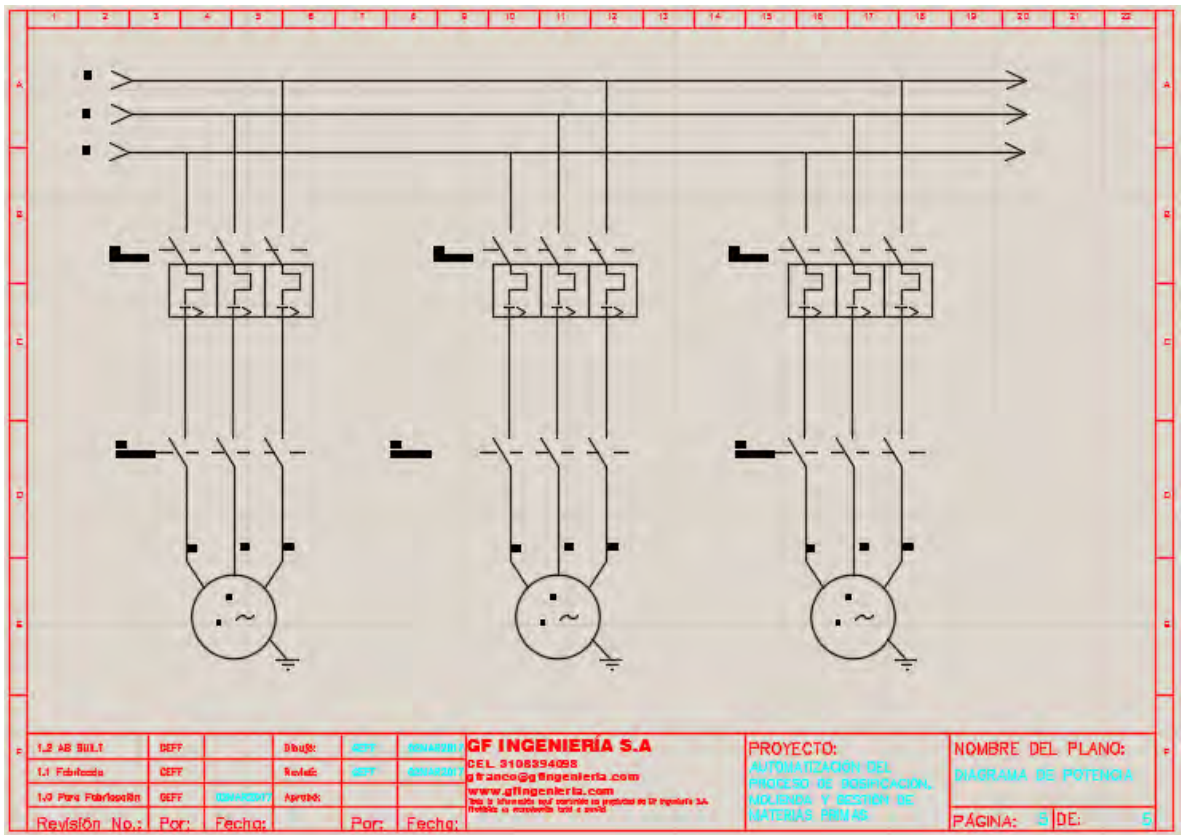
En la ilustración 24 se muestra una de las tarjetas de entradas digitales de uno de los módulos y se observa cómo van conectadas cada una de ellas a la fuente de alimentación.

Ilustración 25. Diagrama de conexión de las tarjetas de salidas digitales



Igual que en la ilustración 24 se muestra la conexión de una de las tarjetas pero esta corresponde a una de salidas digitales, cada una con su respectiva protección.

Ilustración 26. Diagrama de conexión de potencias de 3 motores



Como se mencionó anteriormente en la ilustración 26 muestra solamente el diagrama de potencia de 3 motores, ya que para mostrarlos todos serían demasiados y las conexiones son muy similares, cada motor debe llevar las protecciones necesarias.

9 ESTRATEGIA DE CONTROL

Para terminar con el diseño falta solamente realizar la estrategia para el control de los sistemas de dosificación, molienda y gestión de materias primas, ya que este documento corresponde a la modalidad de pasantía institucional, entonces la empresa para la cual se realizó el diseño no permite mostrar específicamente esta información, manejándose así de manera privada, es por este motivo que no se anexa la estrategia de control de los procesos, pero lo que si se permitió mostrar es una tabla que se anexa al final del documento (anexo L), el cual muestra el estado de los motores y las condiciones de arranque y parada de cada uno de ellos.

10 COTIZACIÓN DE MATERIALES

Tabla 25. Cotización equipos del sistema de control y comunicación.

PLC				
Cant.	Referencia	Descripción	(\$ - USD) Precio unidad	(\$ - USD) Total Price
1	1769-ECR	TERMINADOR FINAL DERECHO PARA COMPACTBUS	37.50	37.50
1	1769-L33ER	CompactLogix 5370 L3 Controller, 2Mb Memory, w/Supercap Backup, up to 16 1769 I/O expansion modules, 32 EtherNet/IP and 120 TCP connections	3,350.00	3,350.00
1	1769-PA2	FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA COMPACT I/O, A 120/240 VCA, (2A @ 5VCC.)	302.00	302.00
6	1794-PS13	FUENTE ALIMENTACIÓN 110/220 VCA A 24 VCC, 1,3A.	234.00	1,404.00
6	1794-AENT	ADAPTADOR ETHERNET PARES TRENZADOS PARA FLEX I/O	779.00	4,674.00

Tabla 26. (Continuación)

15	1794-IB32	MODULO DE 32 E A 24 VCC	556.00	8,340.00
26	1794-TB32S	BASE DE CONEXIÓN PARA MODULOS DE 32 PUNTOS, MUELLE	222.00	5,772.00
1	1794-IE8	MODULO 8 E. ANALÓGICAS.	1,090.00	1,090.00
2	1794-TB3S	BASE DE CONEXIÓN 3 HILOS, MUELLE	217.00	434.00
1	1794-OE12	MODULO SALIDAS ANALOGICAS 12 CANALES, 16 BIT S.E.	2,230.00	2,230.00
1	1794-TB3GS	BASE DE CONEXIÓN DE 3 HILOS CON TOMA A TIERRA, MUELLE	222.00	222.00
11	1794-OB32P	MODULO DE 32 S A 24 VCC	629.00	6,919.00
1	1794-CE3	CABLE EXTENSOR 1 METRO PARA FLEX I/O	251.00	251.00
1	1794-IP4	MODULO DE 4 CONTADORES DE PULSOS A 12/24 V	1,530.00	1,530.00
1	DESKTOP PC	Desktop PC	1,150.00	1,150.00
1	NIC-CARD	EtherNet NIC Card for PC	150.00	150.00

Tabla 26. (Continuación)

6	GENERIC ETHERNET/IP	Generic EtherNet/IP	50.00	300.00
1	1783- HMS16T4CGN	Stratix 5400, 16 copper 10/100 ports, 4 combo 10/100/1000 ports, Layer 2 FW	4,130.00	4,130.00
14	1585J- M8UBJM-2	Patchcord: RJ45 Male / RJ45 Male, 8- Conductor, Teal Robotic PUR, Flex Rated, Shielded, 2 meters (6.56 feet)	54.10	757.40
2	1783-US5T	Stratix 2000 Switch, Unmanaged, 5 Copper Ports	134.00	268.00
1	9324- RLD250ENE	RSLOGIX 5000 LITE EDICION EN INGLES	2,150.00	2,150.00
1	9701- VWSTENE	RSVIEW STUDIO PARA RSVIEW ENTERPRISE (ME+SE)	2,780.00	2,780.00
1	9701- VWSB100AENE	RSVIEW SE STATION - 100 PANTALLAS	4,100.00	4,100.00
7	1606-XLE120E	120W. XLE POWER SUPPLY	307.00	2,149.00
1	1606-XLE240E	240W. XLE POWER SUPPLY	446.00	446.00
			Total:	\$ 54,935.90

La tabla anterior muestra los precios de los equipos necesarios para el montaje de la arquitectura del sistema, todo lo que corresponde a la parte del controlador y equipos de la red de comunicación, el precio está dado en dólares.

11 CONCLUSIONES

Al terminar el proyecto se logra realizar el diseño de automatización de los procesos de dosificación, molienda y gestión de materias primas de las líneas acuícola y pecuaria de la empresa Alimentos Concentrados, dejando las siguientes conclusiones a través de todo el proyecto.

El realizar un adecuado inventario y codificación por medio de la norma ISA S5.1 de toda la planta permitió realizar correcta y eficientemente el diagrama de proceso de las dos líneas de producción, este diagrama ayuda a la visualización de cada uno de los procesos por parte de los operarios para así entender fácilmente el funcionamiento, el paso siguiente a esto sería realizar la hoja de vida de cada uno de los equipos para lograr un fácil mantenimiento de los mismos.

Mediante la información suministrada por la empresa se logra sacar las necesidades del cliente más importantes y posteriormente sus métricas que por medio del análisis QFD se determinó que el diseño de automatización debía centralizarse un 29% en el nivel de automatización de la planta, es decir que tan automático es el diseño y un 16% en la cantidad de tiempo que se demorará al momento de dosificar.

Por medio de las matrices de tamizaje se obtuvieron los mejores sistemas para cada una de las funciones, todos estos cumpliendo con los principales requisitos de diseño, equipos existentes en la planta e infraestructura de la misma. En la selección de los componentes se tuvo en cuenta su desempeño, el conocimiento previo sobre su uso por la firma de ingeniería.

El diseño final de automatización de los procesos de dosificación, molienda y gestión de materias primas se realiza mediante un sistema de control centralizado con IOs distribuidas minimizando de esta manera la cantidad de equipos posibles para el correcto funcionamiento de las dos líneas, logrando una mejor distribución del cableado y recuperando el control automático de en la mayor parte del proceso.

En cuanto a la arquitectura de red, el uso de protocolo EtherNet/IP y topología estrella permite aprovechar al máximo que es una sola infraestructura de red facilitando la adquisición de datos y mejorando el tiempo de producción ya que aumenta la velocidad de transferencia de datos entre el controlador y cada una de las entradas y salidas del sistema.

Con el diagrama de proceso bien estructurado y la descripción de los procesos de las líneas se logra realizar una estrategia de control para el sistema, esta cuenta con el accionamiento de los equipos y protección de cada uno de ellos.

BIBLIOGRAFÍA

AMAYA, Johanna y GARCÍA, Juan Carlos. Libro de ITALCOL, Dosificación. Palmira, 2013. 89 p.

-----, Dosificación. Funza, 2013. 73 p.

-----, Empaque. Palmira, 2013. 89 p.

-----, Molienda. Palmira, 2013. 89 p.

Arquitectura de un sistema de información [en línea]. Montevideo: Pedeciba, 2010. [Consultado 17 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: http://www.pedeciba.edu.uy/bioinformatica/sibdyw/Clase_3.pdf

BALCELLS, Josep y ROMERAL, José Luis. Autómatas programables [en línea]. Barcelona: Marcombo Editores, 1997. 444 p. [consultado 05 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <https://es.scribd.com/document/340646428/Automatas-programables-Josep-Balcells-Jose-Luis-Romeral-pdf>

Controladores programables [en línea]. Rockwell Automation. 2017 [Consultado 22 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers>

Documento de Alimentos Concentrados, Especificación técnica y pliego de cargos. Ciudad de Panamá, 2016. 16 p. 1 archivo de computador.

GARCÍA HIGUERA, Andrés. El control automático en la industria [en línea]. Cuenca: Ediciones de la universidad de Castilla-La Mancha. 2005. 193 p. [Consultado 05 de diciembre de 2016]. Disponible en internet:

<http://www.apuntesdeelectronica.com/industrial/el-control-automatico-en-la-industria.htm>

Indicadores de peso [en línea]. RICE LAKE Weighing System. 2017 [Consultado 22 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <https://www.ricelake.com/es-mx/productos/instrumentaci%C3%B3n/indicadores-controladores/indicadores-peso>

LEON, Alejandro. Sistemas de control distribuido (SCD) [en línea]. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2015. [Consultado 02 de diciembre de 2016]. Disponible en internet: <https://es.slideshare.net/alleonchile/sistemas-de-control-distribuido-dcs-7298975>

LÓPEZ CÉSPEDES, Alfonso y MESA HERNANDEZ, Juan Carlos. Diseño de una metodología de automatización y control para los procesos de dosificación, mezcla y carga de una planta de asfalto [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica. Bogotá: Universidad de la Salle. Facultad de Diseño y Automatización Electrónica. 2007. 199 p. [consultado 05 de noviembre de 2016]. Disponible en internet: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16661/T44.07%20L881d.pdf?sequence=1>

MENA, Juan Carlos. Conceptos básicos de control y aplicaciones. Cali: Universidad Autónoma de Occidente. 2015. 34 p. 1 archivo de computador.

Módulos de entradas/salidas (E/S) [en línea]. Rockwell Automation. 2017. [Consultado 22 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <http://ab.rockwellautomation.com/es/IO>

Módulos Flex Ex IO [en línea]. Rockwell Automation. 2017 [Consultado 22 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <http://ab.rockwellautomation.com/es/IO/In-Cabinet-Modular/1797-FLEX-Ex-IO-Modules>

OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna [en línea]. 5ta ed. Madrid: Pearson Education, 2010. 908 p. [Consultado 28 de diciembre de 2016].

Disponible en internet:
http://www.frenteestudiantil.com/upload/material_digital/Ingenieria%20de%20Control%20moderna%20-%20Ogata%20-%205ta.pdf

Pesaje para dosificación y formulación de alimento balanceado [en línea]. Grupo IPC. 2015. [Consultado 15 de noviembre de 2016]. Disponible en internet:
<http://www.ipc.com.mx/pa-pesaje-para-alimento-balanceado.html>

RODRÍGUEZ PENIN, Antonio. Sistema Scada [en línea]. 2da ed. Barcelona: Marcombo, 2007. 460 p. [consultado 08 de noviembre de 2016]. Disponible en internet:
<https://es.scribd.com/document/242766043/Sistemas-Escada-2Ed-Aquilino-Rodriguez-Penin-pdf>

ROJAS, Álvaro José. Introducción, Proceso de diseño. Cali: Universidad Autónoma de Occidente. 2015. 43 p. 1 archivo de computador.

Sensores de proximidad capacitivos [en línea]. SICK Sensor Intelligence. 2017 [Consultado 26 de febrero de 2017]. Disponible en internet:
<https://www.sick.com/es/es/gama-de-productos/sensores-de-proximidad/sensores-de-proximidad-capacitivos/c/g201659>

Sensores de proximidad inductivos [en línea]. SICK Sensor Intelligence. 2017 [Consultado 26 de febrero de 2017]. Disponible en internet:
<https://www.sick.com/es/es/gama-de-productos/sensores-de-proximidad/sensores-de-proximidad-inductivos/c/g190731>

Sistemas de control ControlLogix [en línea]. Rockwell Automation. 2017 [Consultado 22 de febrero de 2017]. Disponible en internet:
<http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/ControlLogix>

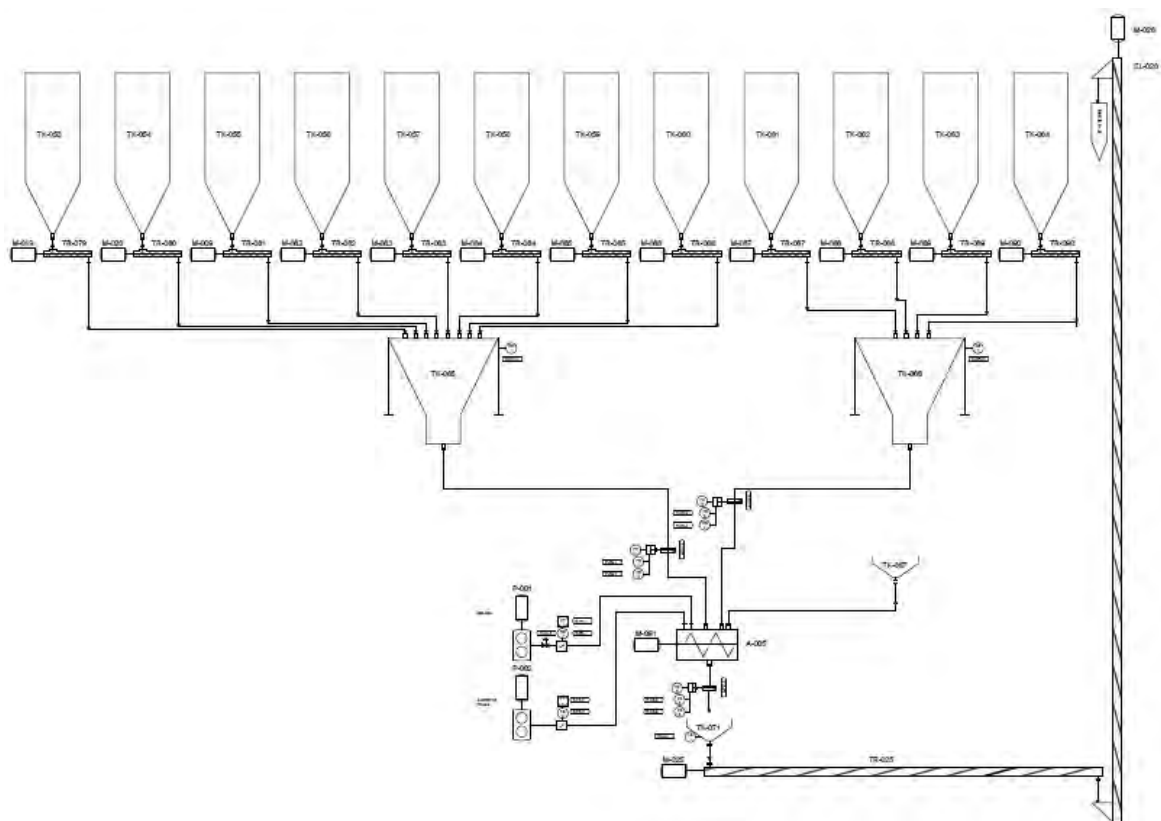
Sistemas proactivos, ingeniería y proyectos [en línea]: Sistemas de automatización y control. 2015. [Consultado 15 de noviembre de 2016]. Disponible en internet:
<http://automatizacion.sistemasproactivos.com/index.html>

STALLINGS, William. Fundamentos de seguridad en redes, aplicaciones y estándares [en línea]. 2da edición. Madrid: Pearson Education. 2004. 434 p. [Consultado 20 de diciembre de 2016]. Disponible en internet: [http://www.academia.edu/22539038/Fundamentos de seguridad en redes Aplicaciones y est%C3%A1ndares 2da Edici%C3%B3n](http://www.academia.edu/22539038/Fundamentos_de_seguridad_en_redes_Aplicaciones_y_est%C3%A1ndares_2da_Edici%C3%B3n)

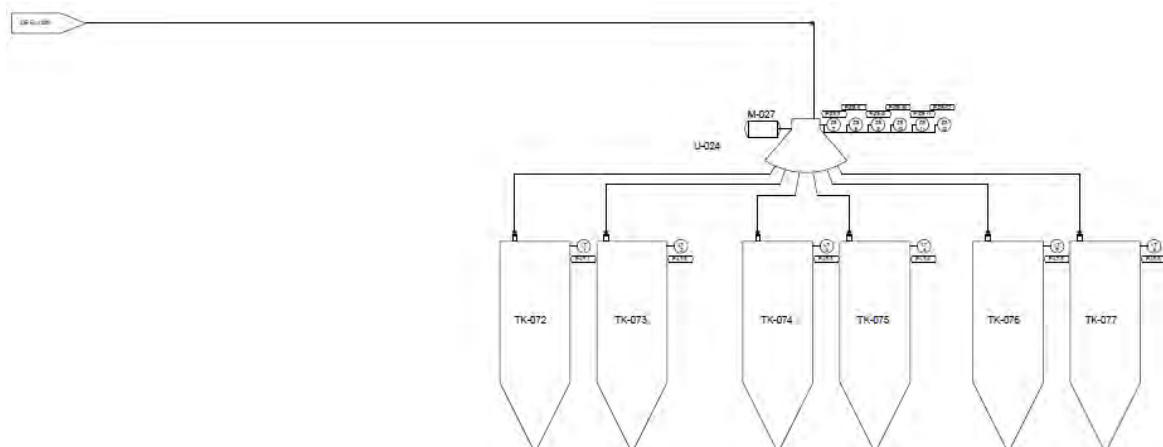
TOMBÉ, Jimmy. Control 2. Cali: Universidad Autónoma de Occidente. 2016. 26 p. 1 archivo de computador.

ANEXOS

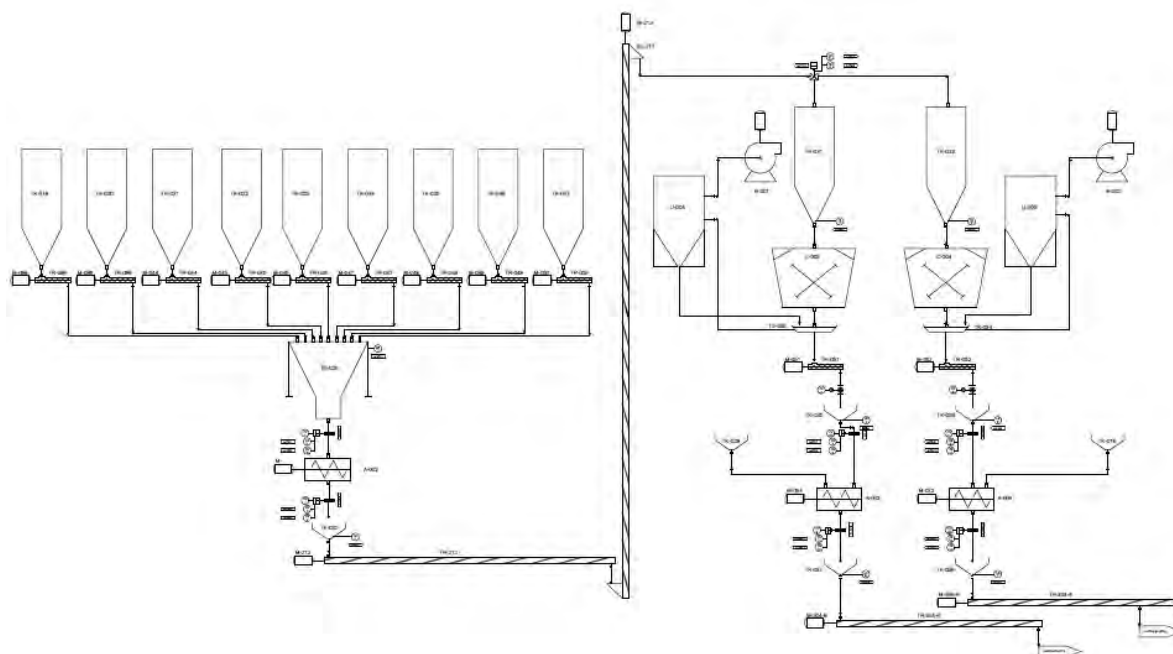
ANEXO A. DIAGRAMA DE PROCESO LÍNEA PECUARIA, PARTE 1



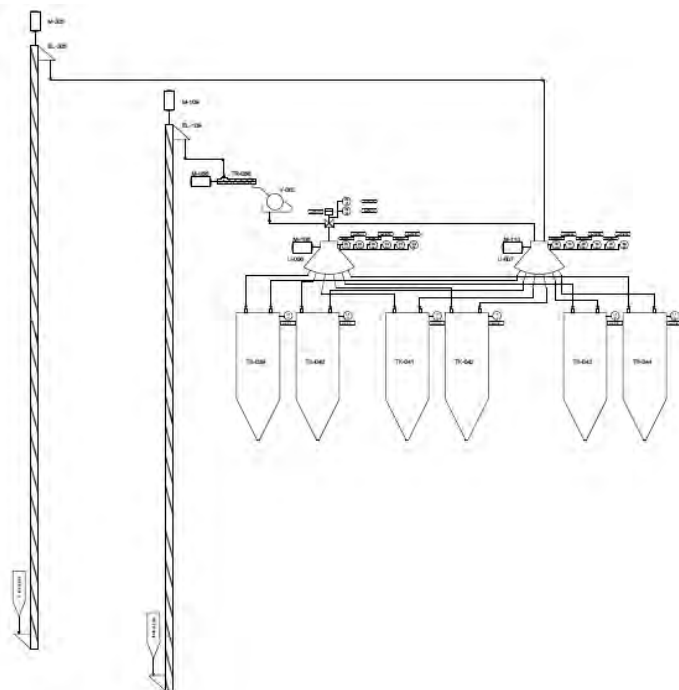
ANEXO B. DIAGRAMA DE PROCESO LÍNEA PECUARIA, PARTE 2



ANEXO C. DIAGRAMA DE PROCESO LÍNEA ACUÍCOLA, PARTE 1



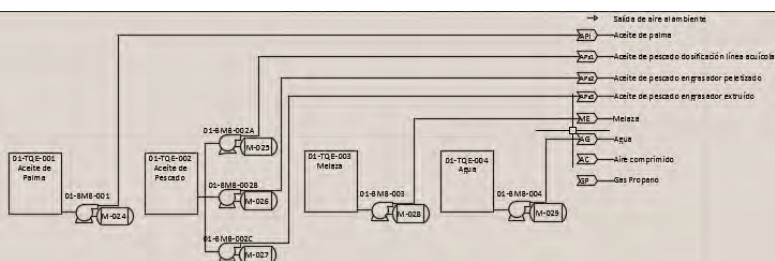
ANEXO D. DIAGRAMA DE PROCESO LÍNEA ACUÍCOLA, PARTE 2



CONEXIONES:

DESCRIPCION DE LA PUNTA	CABLEADO	TIPO DE CABLE	TIPO DE CONECTOR
1- MOTOR DE LA PUNTA	1-0	MOTOR	1-0
2- MOTOR DE LA PUNTA	2-0	MOTOR	2-0
3- MOTOR DE LA PUNTA	3-0	MOTOR	3-0
4- MOTOR DE LA PUNTA	4-0	MOTOR	4-0
5- MOTOR DE LA PUNTA	5-0	MOTOR	5-0
6- MOTOR DE LA PUNTA	6-0	MOTOR	6-0
7- MOTOR DE LA PUNTA	7-0	MOTOR	7-0
8- MOTOR DE LA PUNTA	8-0	MOTOR	8-0
9- MOTOR DE LA PUNTA	9-0	MOTOR	9-0
10- MOTOR DE LA PUNTA	10-0	MOTOR	10-0
11- MOTOR DE LA PUNTA	11-0	MOTOR	11-0
12- MOTOR DE LA PUNTA	12-0	MOTOR	12-0
13- MOTOR DE LA PUNTA	13-0	MOTOR	13-0
14- MOTOR DE LA PUNTA	14-0	MOTOR	14-0
15- MOTOR DE LA PUNTA	15-0	MOTOR	15-0
16- MOTOR DE LA PUNTA	16-0	MOTOR	16-0
17- MOTOR DE LA PUNTA	17-0	MOTOR	17-0
18- MOTOR DE LA PUNTA	18-0	MOTOR	18-0
19- MOTOR DE LA PUNTA	19-0	MOTOR	19-0
20- MOTOR DE LA PUNTA	20-0	MOTOR	20-0
21- MOTOR DE LA PUNTA	21-0	MOTOR	21-0
22- MOTOR DE LA PUNTA	22-0	MOTOR	22-0
23- MOTOR DE LA PUNTA	23-0	MOTOR	23-0
24- MOTOR DE LA PUNTA	24-0	MOTOR	24-0
25- MOTOR DE LA PUNTA	25-0	MOTOR	25-0
26- MOTOR DE LA PUNTA	26-0	MOTOR	26-0
27- MOTOR DE LA PUNTA	27-0	MOTOR	27-0
28- MOTOR DE LA PUNTA	28-0	MOTOR	28-0
29- MOTOR DE LA PUNTA	29-0	MOTOR	29-0
30- MOTOR DE LA PUNTA	30-0	MOTOR	30-0
31- MOTOR DE LA PUNTA	31-0	MOTOR	31-0
32- MOTOR DE LA PUNTA	32-0	MOTOR	32-0
33- MOTOR DE LA PUNTA	33-0	MOTOR	33-0
34- MOTOR DE LA PUNTA	34-0	MOTOR	34-0
35- MOTOR DE LA PUNTA	35-0	MOTOR	35-0
36- MOTOR DE LA PUNTA	36-0	MOTOR	36-0
37- MOTOR DE LA PUNTA	37-0	MOTOR	37-0
38- MOTOR DE LA PUNTA	38-0	MOTOR	38-0
39- MOTOR DE LA PUNTA	39-0	MOTOR	39-0
40- MOTOR DE LA PUNTA	40-0	MOTOR	40-0
41- MOTOR DE LA PUNTA	41-0	MOTOR	41-0
42- MOTOR DE LA PUNTA	42-0	MOTOR	42-0
43- MOTOR DE LA PUNTA	43-0	MOTOR	43-0
44- MOTOR DE LA PUNTA	44-0	MOTOR	44-0
45- MOTOR DE LA PUNTA	45-0	MOTOR	45-0
46- MOTOR DE LA PUNTA	46-0	MOTOR	46-0
47- MOTOR DE LA PUNTA	47-0	MOTOR	47-0
48- MOTOR DE LA PUNTA	48-0	MOTOR	48-0
49- MOTOR DE LA PUNTA	49-0	MOTOR	49-0
50- MOTOR DE LA PUNTA	50-0	MOTOR	50-0
51- MOTOR DE LA PUNTA	51-0	MOTOR	51-0
52- MOTOR DE LA PUNTA	52-0	MOTOR	52-0
53- MOTOR DE LA PUNTA	53-0	MOTOR	53-0
54- MOTOR DE LA PUNTA	54-0	MOTOR	54-0
55- MOTOR DE LA PUNTA	55-0	MOTOR	55-0
56- MOTOR DE LA PUNTA	56-0	MOTOR	56-0
57- MOTOR DE LA PUNTA	57-0	MOTOR	57-0
58- MOTOR DE LA PUNTA	58-0	MOTOR	58-0
59- MOTOR DE LA PUNTA	59-0	MOTOR	59-0
60- MOTOR DE LA PUNTA	60-0	MOTOR	60-0
61- MOTOR DE LA PUNTA	61-0	MOTOR	61-0
62- MOTOR DE LA PUNTA	62-0	MOTOR	62-0
63- MOTOR DE LA PUNTA	63-0	MOTOR	63-0
64- MOTOR DE LA PUNTA	64-0	MOTOR	64-0
65- MOTOR DE LA PUNTA	65-0	MOTOR	65-0
66- MOTOR DE LA PUNTA	66-0	MOTOR	66-0
67- MOTOR DE LA PUNTA	67-0	MOTOR	67-0
68- MOTOR DE LA PUNTA	68-0	MOTOR	68-0
69- MOTOR DE LA PUNTA	69-0	MOTOR	69-0
70- MOTOR DE LA PUNTA	70-0	MOTOR	70-0
71- MOTOR DE LA PUNTA	71-0	MOTOR	71-0
72- MOTOR DE LA PUNTA	72-0	MOTOR	72-0
73- MOTOR DE LA PUNTA	73-0	MOTOR	73-0
74- MOTOR DE LA PUNTA	74-0	MOTOR	74-0
75- MOTOR DE LA PUNTA	75-0	MOTOR	75-0
76- MOTOR DE LA PUNTA	76-0	MOTOR	76-0
77- MOTOR DE LA PUNTA	77-0	MOTOR	77-0
78- MOTOR DE LA PUNTA	78-0	MOTOR	78-0
79- MOTOR DE LA PUNTA	79-0	MOTOR	79-0
80- MOTOR DE LA PUNTA	80-0	MOTOR	80-0

Alâmbrica 2D



SECCIONES DE LA PLANTA	
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
01	MATERIAS PRIMAS
02	MOLIENDA MATERIAS PRIMAS
03	DOSIFICACIÓN Y MEZCLA LINEA ACUICOLA
04	MOLIENDA LINEA ACUICOLA
05	PELETIZADO Y EXTRUIDO LINEA ACUICOLA
06	PRODUCTO TERMINADO LINEA ACUICOLA
07	DOSIFICACIÓN Y MEZCLA LINEA PECUARIA
08	PELETIZADO LINEA PECUARIA
09	PRODUCTO TERMINADO LINEA PECUARIA
INSTRUMENTOS Y ACTUADORES	
LIH	SUICHE DE NIVEL ALTO
LIL	SUICHE DE NIVEL BAJO
III	TRANSMISOR DE CORRIENTE
SIL	SUICHE DE BAJA VELOCIDAD
WIT	TRANSMISOR DE PESO
YLO	SUICHE DE POSICIÓN ABIERTO
YLC	SUICHE DE POSICIÓN ABIERTO
YLC	SUICHE DE POSICIÓN CERRADO
YL	SUICHE DE POSICIÓN (PRESENCIA)
LL	ESTADO DEL MOTOR
ACN	ACONDICIONADOR TÉRMICO
BMB	BOMBA
CCN	CICLÓN
CMP	COMPUERTA RASERA Y VÁLVULA
CHT	CHUTE
CRT	CORTADOR
DST	DISTRIBUIDOR ROTATIVO
DVT	DIVERTER

105

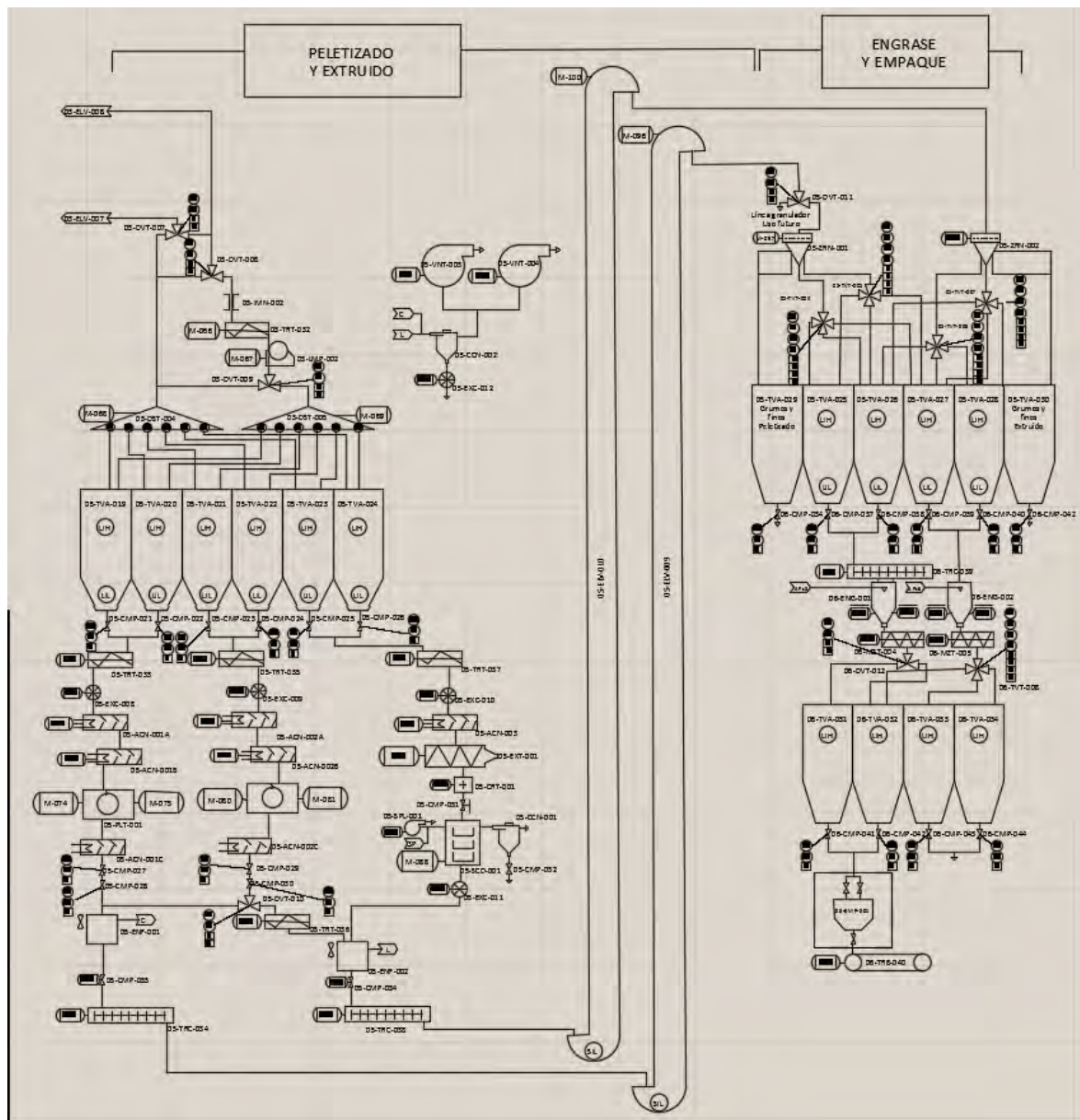
The diagram illustrates the process flow of a cement plant, divided into three main stages: **MATERIAS PRIMAS** (Primary Materials), **MOLIENDA A MATERIAS PRIMAS** (Grinding of Primary Materials), and **MATERIAS PRIMAS** (Primary Materials) again, likely representing a storage or intermediate stage.

Primary Materials Stage: This section shows the initial material handling. It includes a large vertical silo labeled **1111140** and a horizontal conveyor system. Key components include a hopper labeled **1111140**, a conveyor labeled **1111140**, and a storage area labeled **1111140**. The flow is controlled by various valves and sensors, with labels like **1111140** and **1111140** indicating specific points in the process.

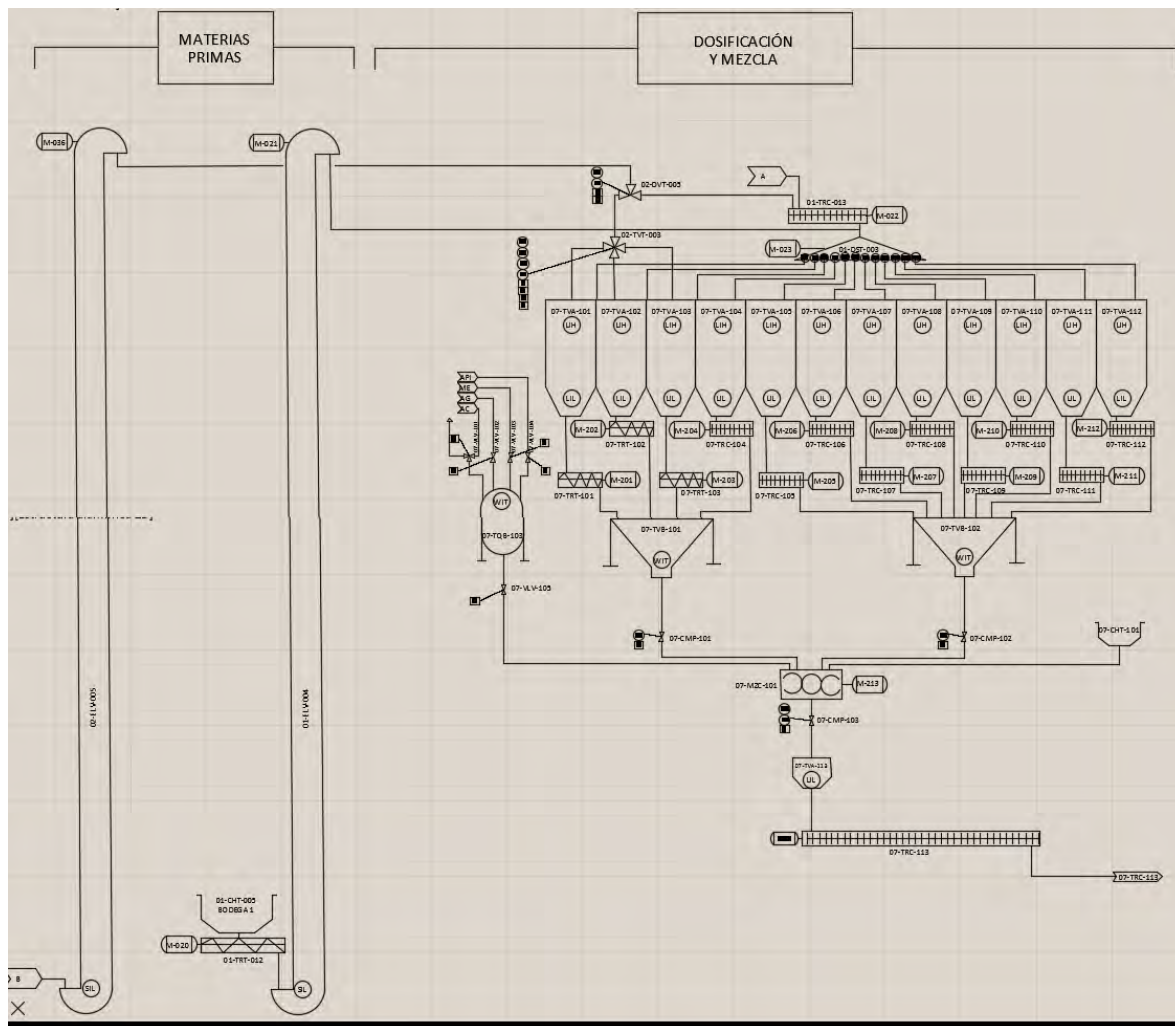
Grinding Stage: This section shows the grinding of primary materials. It features a large vertical silo labeled **1111140** and a horizontal conveyor system. Key components include a hopper labeled **1111140**, a conveyor labeled **1111140**, and a storage area labeled **1111140**. The flow is controlled by various valves and sensors, with labels like **1111140** and **1111140** indicating specific points in the process.

Primary Materials Stage (Intermediate): This section shows the intermediate storage and handling of primary materials. It includes a large vertical silo labeled **1111140** and a horizontal conveyor system. Key components include a hopper labeled **1111140**, a conveyor labeled **1111140**, and a storage area labeled **1111140**. The flow is controlled by various valves and sensors, with labels like **1111140** and **1111140** indicating specific points in the process.

ANEXO I. DIAGRAMA DE PROCESO DE LAS ZONAS DE PELETIZADO, EXTRUIDO, ENGRASE Y EMPAQUE DE LA LÍNEA ACUÍCOLA DE ALIMENTOS CONCENTRADOS



ANEXO J. DIAGRAMA DE PROCESO DE LAS ZONAS DE TRANSPORTE DE MATERIAS PRIMAS, DOSIFICACIÓN Y MEZCLA DE LA LÍNEA PECUARIA DE ALIMENTOS CONCENTRADOS



Anexo L. Estados de motores y condiciones del sistema

ESTADOS DE MOTORES						
ÁREA	TIPO DE EQUIPO	CÓDIGO	CONDICIONES DE ARRANQUE	PARADA	OPERACIÓN	NOTA
Materias Primas	Transportador	01-TRC-001	01-ELV-01 Esté Encendido	No aplica	Elevador andando	Transportadores 01-TRC-002 o 01-TRC-003 estén encendidos o esté seleccionado despacho a granel - señal del 01-TVT-002 sea la correcta
Materias Primas	Elevador De Cangilones	01-ELV-001	Ninguno	Temporizador de 15 segundos después de apagado	Sensor de movimiento este activo	
Materias Primas	Transportador	01-TRC-002	Ninguna	No aplica	La ruta seleccionada siga activa	
Materias Primas	Transportador	01-TRC-003	Ninguna	No aplica	La ruta seleccionada siga activa	

Anexo L. (Continuación)

Materias Primas	Transportador	01-TRC-010	LIH Esté Inactivo-01-DST-001 posición deseada /Distribuidor sin error	No aplica	LIH Esté Inactivo-01-DST-001 Posición Deseada	Error distribuidor marcando más de una señal/motor encendido
Materias Primas	Transportador	01-TRC-011	LIH Esté Inactivo-01-Dst-001 Posición deseada /Distribuidor sin error	No aplica	LIH Esté Inactivo-01-DST-001 Posición Deseada	Error distribuidor marcando más de una señal/motor encendido
Materias Primas	Elevador De Cangilones	01-ELV-003	Ninguna	Temporizador de 15 segundos después de apagado	Sensor de movimiento este activo	
Materias Primas	Elevador De Cangilones	01-ELV-002	Ninguna	Temporizador de 15 segundos después de apagado	Sensor de movimiento este activo	

Anexo L. (Continuación)

Materias Primas	Transportador	01-TRT-009	01-ELV-003 Esté Encendido	No aplica	Elevador andando	Transportadores 01-TRC-010 o 01-TRC-011 estén encendidos- señal del 01-DVT-003 sea la correcta- la señal del 01-TVT-002 sea la correcta
Materias Primas	Transportador	01-TRC-008	01-ELV-002 Esté Encendido	No aplica	Elevador andando	Transportadores 01-TRC-010 o 01-TRC-011 estén encendidos- señal del 01-DVT-003 sea la correcta- o la señal del 01-TVT-002 sea la correcta o que no se encuentran activos los sensores de alto nivel de la tolvas seleccionada 02-TVA-001-02-TVA-001 o 01-TRC-013 se encuentre activo
Materias Primas	Transportador	01-TRC-007	01-TRC-008 Esté Encendido	No aplica	01-TRC-008	
Materias Primas	Transportador	01-TRC-006	01-TRC-007 Esté Encendido	No aplica	01-TRC-007	

Anexo L. (Continuación)

Materias Primas	Transportador	01-TRT-005	01-ELV-01 Esté Encendido	No aplica	Elevador andando	Transportadores 01- TRC-002 o 01-TRC- 003 estén encendidos o esté seleccionado despacho a granel - señal del 01-TVT-002 sea la correcta
Materias Primas	Transportador	01-TRC-004	01-TRC-006 Esté Encendido o 01-TRT-005 Esté Encendido	No aplica	01-TRC-006 Esté encendido o 01-TRT-005 Esté encendido	
Materias Primas	Exclusa	01-EXC-001	01-TRC-004 Esté Encendido	No aplica	01-TRC-004 Esté encendido	
Materias Primas	Exclusa	01-EXC-002	01-TRC-004 Esté Encendido	No aplica	01-TRC-004 Esté encendido	
Materias Primas	Exclusa	01-EXC-003	01-TRC-004 Esté Encendido	No aplica	01-TRC-004 Esté encendido	

Anexo L. (Continuación)

Molienda De Materia Prima	Transportador	02-TRC-016	01-ELV-002 Esté Encendido	No aplica	Elevador andando	Transportadores 01-TRC-010 o 01-TRC-011 estén encendidos- señal del 01-DVT-003 sea la correcta- o la señal del 01-TVT-002 sea la correcta o que no se encuentran activos los sensores de alto nivel de las tolvas 02-TVA-001-02-TVA-002
Molienda De Materia Prima	Transportador	02-TRC-015	02-TRC-006 Esté Encendido o 02-ELV-005 Esté Encendido	No aplica	02-TRC-006 Esté encendido o 02-ELV-005 Esté encendido	01-TRC-013 se encuentre encendido o 02-DVT-005 - 02-DVT-003 y no se encuentre activo el sensor de nivel alto de las tolvas 07-TVA-101/102/103 o 01-TRC-013 este activo
Molienda De Materia Prima	Elevador De Cangilones	02-ELV-005	Ninguna	Temporizador de 15 segundos después de apagado	Sensor de movimiento este activo	
Molienda De Materia Prima	Molino De Martillos	02-MMT-001	Ninguna	Apagado con corriente de motor en vacío	Ninguna	

Anexo L. (Continuación)

Molienda De Materia Prima	Molino De Martillos	02-MMT-002	Ninguna	Apagado con corriente de motor en vacío	Ninguna	
Molienda De Materia Prima	Alimentador	02-TRT-014	02-MMT-001 Esté Activo y la Corriente del motor del molino sea menor a la Corriente nominal del motor	Ninguna	La corriente del motor del 02- MMT-001 sea menor a la corriente nominal del motor	
Molienda De Materia Prima	Alimentador	02-TRT-017	02-MMT-002 Esté Activo y la Corriente del motor del molino sea menor a la Corriente nominal del motor	Ninguna	La corriente del motor del 02- MMT-001 sea menor a la corriente nominal del motor	

Anexo L. (Continuación)

Materias Primas	Transportador	01-TRC-013	LIH Esté Inactivo-01-DST-003 Posición deseada /Distribuidor sin error	Ninguna	LIH Esté inactivo-01-DST-003 Posición deseada	Error distribuidor marcando más de una señal/motor encendido o esté activo el nivel alto de las tolvas de 07-TVA-102 hasta 07-TVA-112 respectivamente
Materias Primas	Transportador	01-TRT-11	LIH Esté Inactivo-01-DST-003 Posición deseada /Distribuidor sin error	Ninguna	LIH Esté inactivo-01-DST-003 Posición deseada	Error distribuidor marcando más de una señal/motor encendido o esté activo el nivel alto de las tolvas de 07-TVA-102 hasta 07-TVA-112 respectivamente
Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRT-101	07-CMP-101 Esté Inactiva y 07-TVB-101 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-101 Esté inactiva y 07-TVB-101 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas

Anexo L. (Continuación)

Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRT-102	07-CMP-101 Esté Inactiva y 07-TVB-101 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-101 Esté inactiva y 07-TVB-101 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRT-103	07-CMP-101 Esté Inactiva y 07-TVB-101 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-101 Esté inactiva y 07-TVB-101 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-104	07-CMP-101 Esté Inactiva y 07-TVB-101 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-101 Esté inactiva y 07-TVB-101 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-105	07-CMP-102 Esté Inactiva y 07-TVB-102 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-102 Esté inactiva y 07-TVB-102 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas

Anexo L. (Continuación)

Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-106	07-CMP-102 Esté Inactiva y 07-TVB-102 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-102 Esté inactiva y 07-TVB-102 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-107	07-CMP-102 Esté Inactiva y 07-TVB-102 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-102 Esté inactiva y 07-TVB-102 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-108	07-CMP-102 Esté Inactiva y 07-TVB-102 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-102 Esté inactiva y 07-TVB-102 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-109	07-CMP-102 Esté Inactiva y 07-TVB-102 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-102 Esté inactiva y 07-TVB-102 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas

Anexo L. (Continuación)

Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-110	07-CMP-102 Esté Inactiva y 07-TVB-102 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-102 Esté inactiva y 07-TVB-102 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-111	07-CMP-102 Esté Inactiva y 07-TVB-102 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-102 Esté inactiva y 07-TVB-102 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-112	07-CMP-102 Esté Inactiva y 07-TVB-102 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	07-CMP-102 Esté inactiva y 07-TVB-102 se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Pecuaria	Mezcladora	07-MZC-101	Ninguna	Ninguna	Ninguna	La descarga de la mezcla depende de la activación del nivel de la tolva 07-TVA-113

Anexo L. (Continuación)

Dosificación Pecuaria	Transportador	07-TRC-113	LIH Esté Inactivo y 07-DST-101 Posición deseada /Distribuidor sin error y 07-ELV-101 Esté Activo	Ninguna	LIH Esté inactivo y 07-DST-101 Posición deseada /Distribuidor sin error y 07-ELV-101 Esté activo	Error distribuidor marcando más de una señal/motor encendido o esté activo el nivel alto de las tolvas 08-TVA-114/115/116 esté activo el nivel alto de las tolvas 09-TVA-117/118/119
Dosificación Pecuaria	Elevador De Cangilones	07-ELV-101	Ninguna	Temporizador de 15 segundos después de apagado	Sensor de movimiento este activo	
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-118	03-CMP-015 Esté Inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	03-CMP-015 Esté inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-119	03-CMP-015 Esté Inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	03-CMP-015 Esté inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas

Anexo L. (Continuación)

Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-120	03-CMP-015 Esté Inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	03-CMP-015 Esté inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-121	03-CMP-015 Esté Inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	03-CMP-015 Esté inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-122	03-CMP-015 Esté Inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	03-CMP-015 Esté inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-123	03-CMP-015 Esté Inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	03-CMP-015 Esté inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas

Anexo L. (Continuación)

Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-124	03-CMP-015 Esté Inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	03-CMP-015 Esté inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-125	03-CMP-015 Esté Inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	03-CMP-015 Esté inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-126	03-CMP-015 Esté Inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	Ninguna	03-CMP-015 Esté inactiva 03-TVB-001 Se encuentre en rango permitido de carga	El rango del peso permitido debe ser de No se puede activar dos tolvas
Dosificación Acuícola	Mezcladora	03-MZC-001	Ninguna	Ninguna	Ninguna	La descarga de la mezcla depende de la activación del nivel de la tolva 03-TVA-012
Post-Molienda Acuícola	Limpiadora	03-LMP-001	Ninguna	Ninguna	Ninguna	

Anexo L. (Continuación)

Post-Molienda Acuícola	Elevador De Cangilones	03-ELV-006	Ninguno	Temporizador de 15 segundos después de apagado	Sensor de movimiento este activo	
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRC-027	03-DVT-006 Esté en la posición deseada y 04- EXC-004/006 Esté Activo	Ninguna	03-DVT-006 Esté en la posición deseada y 04- EXC-004/006 Esté activo	
Post-Molienda Acuícola	Molino De Martillos	04-MMT-003	04-VNT-001 Se encuentre activo	Apagado con corriente de motor en vacío	04-VNT-001 Se encuentre activo	
Post-Molienda Acuícola	Ventilador	04-VNT-001	Ninguno	Ninguna	Ninguna	
Post-Molienda Acuícola	Transportador	04-TRT-028	04-EXC-005 Esté Activa	Ninguna	04-EXC-005 Esté activa	
Post-Molienda Acuícola	Exclusa	04-EXC-004	04-TRT-028 Esté Activo y MMT-003 Tenga una corriente menor a la nominal del motor	Ninguna	04-TRT-028 Esté activo y MMT- 003 Tenga una corriente menor a la nominal del motor	Corriente del molino debe ser menor a la corriente nominal del motor
Post-Molienda Acuícola	Exclusa	04-EXC-005	Ninguna	Ninguna	Ninguna	

Anexo L. (Continuación)

Mezclado Acuícola	Mezcladora	03-MZC-003	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Descarga de la mezcladora se realiza de acuerdo al tiempo de mezcla de los ingredientes
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRC-029	LIH Esté Inactivo 05- TVA-19/24 y 03-DST-004 o 03-TVA-005 Posición deseada /Distribuidor sin error	Elevador andando	LIH Esté inactivo 05-TVA-19/24 y 03-DST-004 ó 03-TVA-005 Posición deseada /Distribuidor sin error	Error distribuidor marcando más de una señal/motor encendido
Dosificación Acuícola	Elevador De Cangilones	03-ELV-007	Ninguna	Temporizador de 15 segundos después de apagado	Sensor de movimiento este activo	
Dosificación Acuícola	Limpiadora	03-LMP-002	Ninguna	Ninguna	03-IMN-001 Se encuentre activo	
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRT-032	03-LMP-002 Esté Activa	Ninguna	03-LMP-002 Esté activa	
Dosificación Acuícola	Molino De Martillos	04-MMT-004	04-VNT-002 Se encuentre activo	Apagado con corriente de motor en vacío	04-VNT-002 Se encuentre activo	
Dosificación Acuícola	Ventilador	04-VNT-002	Ninguno	Ninguna	Ninguna	

Anexo L. (Continuación)

Dosificación Acuícola	Transportador	04-TRT-030	04-EXC-007 Esté Activa	Ninguna	04-EXC-005 Esté activa	
Dosificación Acuícola	Exclusa	04-EXC-006	04-TRT-030 Esté Activo y 01-MMT-004 Tenga una corriente menor a la nominal del motor	Ninguna	04-TRT-030 Esté activo y 01- MMT-004 Tenga una corriente menor a la nominal del motor	Corriente del molino debe ser menor a la corriente nominal del motor
Dosificación Acuícola	Exclusa	04-EXC-007	Ninguna	Ninguna	Ninguna	
Mezclado Acuícola	Mezcladora	03-MZC-003	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Descarga de la mezcladora se realiza de acuerdo al tiempo de mezcla de los ingredientes
Dosificación Acuícola	Transportador	03-TRC-031	LIH Esté Inactivo 05- TVA-19/24 y 03-DST-004 o 03-TVA-005 Posición deseada /Distribuidor sin error	Elevador andando	LIH Esté inactivo 05-TVA-19/24 y 03-DST-004 o 03-TVA-005 Posición deseada /Distribuidor sin error	Error distribuidor marcando más de una señal/motor encendido

Anexo L. (Continuación)

Dosificador De Líquidos	Bomba	01-BMB-001	03-VLV-005 o 03-VLV-005 o 07-VLV-105 Se encuentren inactivas	Ninguna	03-VLV-005 o 03-VLV-005 o 07-VLV-105 Se encuentren inactivas	03-TQB-002 o 03-TQB- 003 o 07-TQB-103 se encuentren en el rango permitido de carga
Dosificador De Líquidos	Bomba	01-BMB-002	03-VLV-005 o 03-VLV-005 o 07-VLV-105 Se encuentren inactivas	Ninguna	03-VLV-005 o 03-VLV-005 o 07-VLV-105 Se encuentren inactivas	03-TQB-002 o 03-TQB- 003 o 07-TQB-103 se encuentren en el rango permitido de carga
Dosificador De Líquidos	Bomba	01-BMB-003	03-VLV-005 o 03-VLV-005 o 07-VLV-105 Se encuentren inactivas	Ninguna	03-VLV-005 o 03-VLV-005 o 07-VLV-105 Se encuentren inactivas	03-TQB-002 o 03-TQB- 003 o 07-TQB-103 se encuentren en el rango permitido de carga
Dosificador De Líquidos	Bomba	01-BMB-004	03-VLV-005 o 03-VLV-005 o 07-VLV-105 Se encuentren inactivas	Ninguna	03-VLV-005 o 03-VLV-005 o 07-VLV-105 Se encuentren inactivas	03-TQB-002 o 03-TQB- 003 o 07-TQB-103 se encuentren en el rango permitido de carga